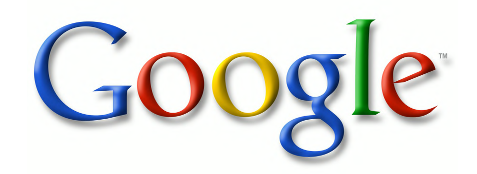

Google




SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS



FABRICACIÓN DE CONDENSADORES Y CARRETES

BIBLIOTECA DEL ELECTRICISTA PRÁCTICO

SEGUNDA SERIE (Volúmenes 31 a 60)

PUBLICADA BAJO LA DIRECCIÓN

DE

E. TERRADAS

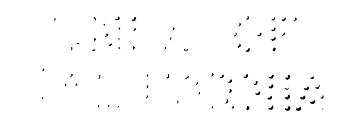
PAPEL FABRICADO EXPRESAMENTE POR LA PAPELERA ESPAÑOLA

TOMO XXXIII

FABRICACIÓN DE CONDENSADORES Y CARRETES

POR

GUILLERMO ROVIROSA Y JOAQUÍN LABORI
DEL INSTITUTO DE ELECTRICIDAD
Y MECÁNICA APLICADAS, DE BARCELONA

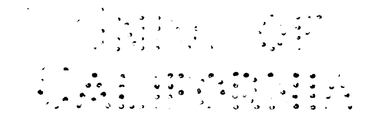


« CALPE »
Compañía Anónima de Librería, Publicaciones y Ediciones
MADRID - BARCELONA

Dalmau, Yuste y Bis, impresores. - Ronda S. Pablo. 42.- Teléfono A. 691. - Barcelona

PRIMERA PARTE

FABRICACIÓN DE CONDENSADORES



CAPÍTULO PRIMERO

GENERALIDADES SOBRE LOS CONDENSADORES (1)

Capacidad electrostática de un conductor aislado. Faradio.

Se llama capacidad electrostática de un conductor aislado la cantidad de electricidad (o carga) que contiene cuando está sometido a la influencia de la unidad de potencial eléctrico (1 voltio).

La unidad de capacidad electrostática es el *faradio,* que corresponde a la carga de un culombio, o, dicho en otras palabras, la capacidad de un cuerpo tal, que, bajo la influencia de una diferencia de potencial de un voltio, admite una carga eléctrica de un culombio.

La unidad práctica de capacidad es el *microfaradio,* o sea, una millonésima de faradio.

La capacidad electrostática de los cuerpos conductores no es una función directa de su volumen, sino que depende en gran manera de la superficie y, especialmente, de la forma.

---

(1) Véase tomo I de la 1.ª serie de esta Biblioteca, cap. V.

Se comprueba, además, que las cargas electrostáticas sólo se manifiestan en la superficie exterior de los cuerpos, como se demuestra por medio de experimentos tan sencillos como la esfera de Coulomb, los hemisferios movibles de Biot y la manga cónica de Faraday.

Por consiguiente, cuanto mayor sea la superficie exterior de un cuerpo, mayor carga eléctrica admitirá.

Si llamamos Q a la cantidad de electricidad, o carga, que toma un cuerpo bajo la acción de una diferencia de potencial de E voltios, su capacidad electrostática vendrá dada por la expresión:

$$C = \frac{Q}{E} \text{ faradios}$$

o bien, por la siguiente:

$$C = \frac{Q \times 10^6}{E} \text{ microfaradios.}$$

No hay que perder de vista que la capacidad electrostática de un cuerpo conductor nada tiene que ver con la naturaleza del mismo; depende sólo de su forma y, en manera especialísima, de su superficie exterior.

Ligera idea sobre la condensación.

La experiencia enseña, y la teoría lo explica perfectamente, el hecho de que, aproximando entre si

dos cuerpos conductores, de manera que se encuentren en condiciones de mutua influencia electrostática, y aplicando a los dos diferencias de potencial de signos contrarios, las cargas eléctricas que toman son mucho más considerables que si cada uno de ellos se carga separadamente.

A este fenómeno se le llama *condensación*, y los aparatos mediante los cuales se utiliza para usos prácticos se llaman condensadores.

El condensador más antiguo es el conocido con el nombre de *Botella de Leyden*, denominado así por haber sido en Leyden (Holanda) el lugar donde, en 1746, el físico Muschenbrock, por pura casualidad, puso de manifiesto por primera vez los fenómenos de condensación.

La botella de Leyden consiste en un frasco forrado por fuera y por dentro con hoja de estaño, o lleno interiormente de panes de oro cuando la estrechez del cuello no permite extender con facilidad la hoja interior (Fig. 1.ª). Un gancho metálico penetra por un corcho hasta el fondo de la botella. Este gancho termina en punta en el extremo que va dentro de la botella, y en una bolita de latón el extremo exterior. El cuello y la parte superior desnuda están barnizados de lacre, con objeto de asegurar bien el aislamiento entre las partes metálicas.

En la botella de Leyden, el cristal del frasco constituye el *dieléctrico*, y la hoja de estaño exterior junto con la parte metálica interior, que forma contacto con el gancho, constituyen las *armaduras*.

Debido al hecho de que la capacidad de un conductor depende casi exclusivamente de su superficie exterior, se procura siempre que ambas armaduras estén constituídas por láminas metálicas muy del-

gadas, de manera que, a igualdad de peso, ofrezcan la mayor superficie posible.

En los condensadores, aparte de la influencia que ejerce la superficie de las armaduras, existe otro fac-

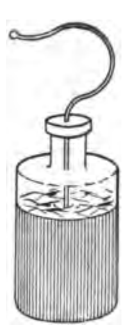


Fig. 1

tor de grande importancia, que es el dieléctrico, puesto que la capacidad de un condensador viene influída en gran manera por la naturaleza y espesor de aquél.

Para poner de manifiesto las propiedades de un condensador basta hacer el montaje indicado esquemáticamente en la figura 2.

En el momento en que el inversor forma contacto con la parte superior la aguja del galvanómetro balístico se desvía en un sentido determinado, lo cual indica que por el circuito ha pasado cierta cantidad de corriente eléctrica (corriente de carga).

Cuando el inversor pasa a formar contacto con la parte inferior, la aguja del galvanómetro balístico

sufre una desviación casi idéntica a la anterior, pero hacia el lado opuesto de la escala, lo cual nos prueba que la cantidad de electricidad que el conden-

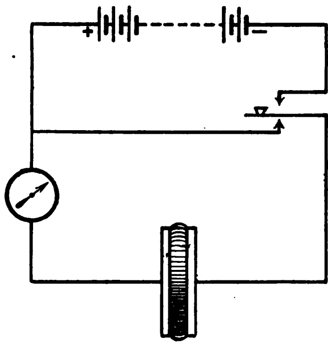


Fig. 2

sador había almacenado ha sido puesta nuevamente en movimiento (corriente de descarga), obrando mientras tanto el condensador como un generador, hasta el momento en que sus armaduras adquieren el mismo potencial.

Acoplamiento de los condensadores.

Los condensadores pueden acoplarse en serie, en paralela, o bien en serie y paralela a la vez, o sea, agrupamiento mixto.

Cuando se conectan en serie, la capacidad equivalente del sistema es tal, que su inversa es igual

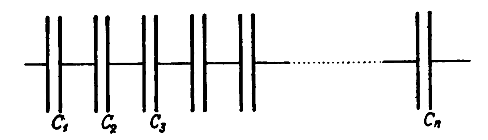


Fig. 3
Condensadores en serie

a la suma de las inversas de las capacidades de cada elemento, o sea, expresado en forma analítica:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

Es evidente, pues, que la capacidad del conjunto es inferior a la de un elemento cualquiera.

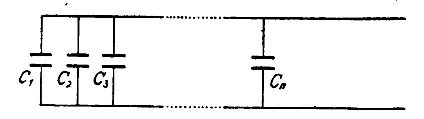


Fig. 4
Condensadores en paralela

Cuando se agrupan en serie *n* elementos de igual capacidad, la capacidad equivalente es igual a la enésima parte de la de un solo condensador.

En el acoplamiento en paralela (Fig. 4), que es el más frecuente, se verifica que la capacidad total del sistema es igual a la suma de las capacidades de cada uno de los elementos. La capacidad equivalente vendrá dada, por consiguiente, por la expresión:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_n$$

Si se agrupan en paralela n elementos de idéntica capacidad, la capacidad del conjunto será n veces mayor que la de un solo condensador.

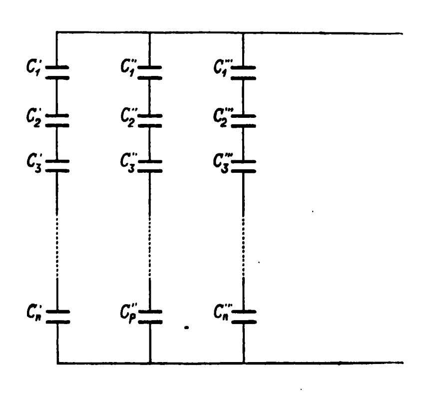


Fig. 5
Agrupamiento mixto

En los agrupamientos mixtos, o en serie y paralela, de los condensadores, la capacidad total equiva-

lente viene dada por la expresión:

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C'_1}+\frac{1}{C'_2}+\cdots+\frac{1}{C'_n}} + \frac{1}{\frac{1}{C''_1}+\frac{1}{C''_2}+\cdots+\frac{1}{C''_p}}$$

$$+ \frac{1}{\frac{1}{C'''_1}+\frac{1}{C'''_2}+\cdots+\frac{1}{C'''_q}} + \cdots\cdots$$

Sin embargo, este acoplamiento raras veces se emplea en la práctica.

Influencia de los condensadores intercalados en los circuitos de corriente alterna.

En las aplicaciones industriales, los condensadores nunca se emplean en el sentido de aprovechar la propiedad que tienen de poder almacenar y retener cierta cantidad de electricidad, sino por la influencia que ejercen en los circuitos de corriente alterna, ya sea ésta sinusoidal, o bien obedezca a las inflexiones de la voz humana o a las señales telegráficas, etc.

Para hacernos cargo de cómo obra un condensador, vamos a examinar el caso más sencillo, o sea, el de un condensador intercalado en un circuito de corriente alterna sinusoidal suponiendo la condición ideal de que el circuito no ofrezca resistencia óhmica al paso de la electricidad.

Sabemos que si un circuito constituído por puras resistencias óhmicas está sometido a una diferencia de potencial alterna, cuando ésta se hace máxima, nula o mínima, se hace asimismo máxima, nula o mínima la corriente que atraviesa dicho circuito.

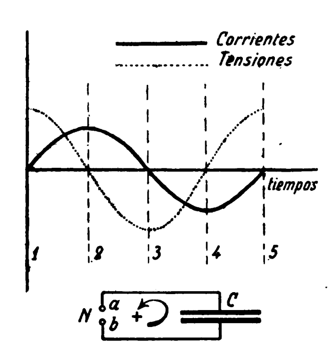


Fig. 6
Diagrama de un circuito condensivo

Consideremos ahora el caso supuesto anteriormente, y sea *C* un condensador conectado a dos puntos *a* y *b* en los cuales se manifiesta una diferencia de potencial alterna sinusoidal (Fig. 6.ª). La variación de la fuerza electromotriz entre los bornes *a* y *b* vendrá representada por la sinusoide de puntos. Vamos a considerar lo que ocurre en el circuito del condensador durante el tiempo en que la sinusoide de tensión recorre un ciclo completo.

Posición 1. Empecemos por considerar el momento en que la diferencia de potencial aplicada a las

armaduras del condensador es máxima. En este momento el condensador habrá quedado completamente cargado y, por consiguiente, en el circuito habrá equilibrio eléctrico. La corriente será, pues, nula.

Situación 1-2. Cuando se ha pasado por la posición *1* y al haber admitido el condensador su máxima carga, la diferencia de potencial existente entre ambas armaduras es precisamente la máxima que le ha sido aplicada. Por consiguiente, se comprende perfectamente que al disminuir el potencial entre los puntos *a* y *b,* el potencial de las armaduras del condensador domina sobre aquél, y, por lo tanto, va descargándose, siendo más intensa la corriente de descarga cuanto más rápida es la variación de potencial entre los bornes *a* y *b*. Vemos, pues, que en el intervalo *1-2* en que la tensión pasa de un valor máximo a un valor cero, la corriente va aumentando desde cero, pero con signo negativo.

Posición 2. Al llegar a la posición *2,* en que la tensión es *cero,* el condensador no encuentra resistencia y se descarga completamente, alcanzando la corriente el valor máximo negativo.

Situación 2-3. Al pasar de la posición *2* el potencial aplicado se hace negativo, y como el condensador se hallaba descargado, se producirá una corriente de carga de igual signo que el potencial. Esta corriente irá disminuyendo de valor absoluto a medida que el potencial se acerque a su valor máximo negativo, puesto que la variación de dicho potencial va siendo menos intensa.

Posición 3. Cuando llegamos a la posición *3* el potencial ya no aumenta de valor, por lo tanto la corriente de carga se hace cero. El condensador está completamente cargado con una diferencia de po-

tencial entre sus armaduras igual a la máxima aplicada.

Situación 3-4. Al disminuir en valor absoluto el potencial aplicado a los bornes *a* y *b*, empezará la descarga del condensador en sentido opuesto a la carga, o sea, en sentido positivo, aumentando en intensidad a medida que la disminución del potencial aplicado sea más rápida, hasta llegar a la

Posición 4, en que la diferencia de potencial entre los puntos *a* y *b* es cero. En este momento la corriente de descarga ha llegado a su máximo positivo.

Situación 4-5. Inmediatamente después de pasar de la posición 4, el condensador ha quedado completamiente descargado, pero simultáneamente también aumenta el voltaje aplicado a sus armaduras. La corriente de carga será ahora positiva, por serlo la diferencia de potencial aplicada, y su valor irá disminuyendo a medida que la variación del potencial vaya siendo menos rápida, hasta el momento en que llegamos a la

Posición 5, que es reproducción exacta de la posición *1*. Para cada período completo siguiente sirve el mismo razonamiento.

Por las consideraciones anteriores se ve que la instalación de una pura capacidad en un circuito de corriente alterna sinusoidal, da como resultado el que la corriente de dicho circuito vaya adelantada en un cuarto de período con respecto a la tensión alterna de dicho circuito.

En el caso real, o sea, cuando los conductores presentan cierta resistencia óhmica, el adelanto provocado por el condensador será evidentemente inferior a 90°.

Como los circuitos de corriente alterna presentan

siempre cierta autoinducción, cuyo efecto es el de retrasar la corriente respecto de la tensión, se comprende perfectamente que el empleo de los condensadores tendrá por objeto provocar un adelanto de la corriente de manera que compense hasta cierto punto el retraso debido a la autoinducción, logrando así que la tensión y la corriente estén en fase, o que les falte muy poco para estarlo.

CAPÍTULO II

DIVERSAS CLASES DE CONDENSADORES

Los condensadores pueden dividirse en tres categorías principales, a saber: Condensadores con dieléctrico sólido, Condensadores con dieléctrico líquido, y Condensadores rotativos.

Vamos a tratar ahora de las propiedades principales y usos de cada clase de condensadores para ocuparnos después con más detenimiento en su fabricación, especialmente la de los condensadores con dieléctrico sólido.

Los condensadores con dieléctrico sólido, o de placas, tienen como aplicación principal la de elemento auxiliar de los carretes de inducción; también se usan en las instalaciones telegráficas y telefónicas y, en general, en todos los casos en que no se exige gran capacidad.

El uso de los condensadores electrolíticos, o con dieléctrico líquido, es muy restringido a causa de su bajo rendimiento. Se emplea casi exclusivamente en las instalaciones de protección de las líneas aéreas a mediana y alta tensión.

Los condensadores rotativos, o condensadores sincrónicos se emplean en los casos en que se exige gran capacidad, especialmente para mejorar el factor de

potencia de las grandes y medianas distribuciones de energía con corriente alterna.

Condensadores dè placas. Las armaduras.

En los condensadores con dieléctrico sólido, la cuestión de las armaduras es completamente secundaria. Sólo se exige de ellas que no sean muy resistentes eléctricamente consideradas, que sean de un material muy maleable, y que éste pueda encontrarse a buen precio en el mercado. La substancia que mejor se acomoda a estas prescripciones es el estaño, del cual puede decirse que, prácticamente, es el único empleado en la construcción de las armaduras de los condensadores industriales. Se ha empleado también la plata, pero no en forma de hojas, sino como precipitado de una reacción química, que queda perfectamente adherido a una de las caras de un vidrio, en forma análoga a los espejos. Sin embargo, este procedimiento no ha alcanzado grande extensión en el campo industrial.

El dieléctrico.

En los condensadores de placas, lo que fija de una manera absoluta las características del mismo es el dieléctrico, porque a igualdad de superficie de armaduras y de distancia entre las mismas, del dieléc-

trico empleado depende únicamente la magnitud de la carga que el condensador podrá tomar.

Los materiales preferentemente usados como dieléctricos son: mica, vidrio y papel, y en menor extensión se han usado también celuloide, acetocelulosa, gelatina y kerosona.

Entre los condensadores de idénticas características, ofrecerá mayor capacidad aquel cuya distancia entre armaduras sea mayor. Por consiguiente, hay que procurar siempre reducir dicha distancia hasta los límites de lo posible.

Lo que fija el espesor del dieléctrico es exclusivamente el voltaje a que debe estar sometido, y para cada material dependerá de su rigidez dieléctrica, o sea, del espesor tal que, al aplicar entre las dos caras la diferencia de potencial considerada, salte la chispa eléctrica a través de su masa.

En los ensayos de la rigidez dieléctrica de un mismo material pueden aparecer resultados bastante discrepantes, con todo y haber sido hechos con la mayor escrupulosidad. Ello es debido a que, entre otras causas, el valor del voltaje de ruptura de un aislante depende de la temperatura interna y externa, de cambios químicos, de la humedad absorbida, de la naturaleza del medio ambiente, del tamaño y forma de los electrodos de ensayo, del tiempo de prueba, de la naturaleza del voltaje aplicado (alterno o continuo), de la frecuencia, etc. Como para la verificación de estos ensayos no se ha llegado a un convenio internacional, es costumbre admitir un error de un 10 a un 20 por 100 en más o en menos sobre los números que den los fabricantes o expendedores de estos materiales.

Respecto a la influencia del espesor sobre el vol-

taje de ruptura, hay que consignar que son muy raras las substancias para las cuales dichas dos magnitudes varían de una manera proporcional. En el caso de la fibra, por ejemplo, el voltaje de ruptura aumenta muy lentamente al aumentar el espesor. Sin embargo, en las láminas de vidrio de idéntico espesor y separadas por una película de aceite mineral el voltaje de ruptura es sensiblemente proporcional al número de láminas.

Baur propuso la fórmula siguiente:

$$E = k\, l^{\frac{2}{3}}$$

en la que:

E = voltaje de ruptura,
k = una constante que depende del material, y
l = espesor de la placa.

Esta fórmula está muy lejos de ser exacta, pero puede ofrecer una orientación en ciertos materiales.

Hendricks hace observar que para un mismo espesor de un material determinado, si el voltaje de ruptura está formado por varias láminas superpuestas, es mayor que cuando lo está por una sola lámina. Ello es debido a que raras veces coinciden los puntos débiles de todas las placas, además de que las láminas múltiples ofrecen mayor resistencia eléctrica y mecánica que una lámina única.

La frecuencia también influye mucho en la rigidez dieléctrica, hasta el punto de que Creighton comprobó que a muy alta frecuencia (de orden de 200000 períodos por segundo) había una diferencia de 60 a

80 por 100 sobre los valores obtenidos con tensiones a 50 períodos.

Un fenómeno interesante que se presenta en los condensadores es el conocido con el nombre de "histeresis dieléctrica". Es debido al hecho de que cuando dos cuerpos cargados a diferente potencial se encuentran el uno cerca del otro, se produce entre ellos un flujo electrostático, flujo que en los condensadores atraviesa completamente el dieléctrico. Ahora bien, al invertirse rápidamente el signo de la carga de las armaduras, también se invierte el sentido de las líneas de fuerza del flujo electrostático, y estas inversiones son las que producen la histeresis dieléctrica, en todo análoga a la histeresis magnética. Las pérdidas que este fenómeno ocasiona son muy difíciles de determinar, pues su magnitud es de un orden muy inferior a las pérdidas producidas por la histeresis magnética. Para frecuencias comprendidas entre 25 y 125 períodos por segundo, se ha comprobado que las pérdidas por histeresis dieléctrica rara vez alcanzan el valor de algunas décimas por ciento sobre el número total de voltamperios que constituyen la característica del condensador.

En los condensadores que han de estar sometidos a un potencial bastante elevado, conviene extraer el aire que pueda existir entre las armaduras, llevando esta operación hasta el extremo que sea posible. Ello es debido al hecho de que, al estar las armaduras a un potencial elevado, el flujo dieléctrico que engendran es muy intenso, de modo que el aire, bajo la influencia de dicho flujo, se ioniza, transformándose el oxígeno en ozono, substancia de alto poder oxidante, que puede perjudicar y, a la larga, destruir el dieléctrico.

La mica.

Es un mineral constituído por un silicato doble de alúmina o magnesia y de potasa o sosa, combinado con diversas proporciones de potasa, sosa y otras impurezas. El hierro en exceso le da una coloración gris y aun negra; la magnesia le da color obscuro, y los silicatos de aluminio y de potasio aumentan considerablemente su transparencia.

Cristaliza en forma laminar, y en el sentido de su eje se pueden separar láminas de un espesor hasta 0'006 milímetros.

La mica natural en láminas es muy cara, además de que no se puede obtener en tamaños relativamente grandes. La mayor lámina natural que se ha podido obtener medía 20 por 25 centímetros. Además de esto, la mica tal como se presenta no es flexible ni uniforme; por tales razones la que se expende en el comercio está formada por la yuxtaposición y superposición de laminillas muy delgadas de mica natural, recibiendo los nombres de micanita, megomita, megotal, etc.

La densidad de la mica varía de 2'7 a 3'1.

Su calor específico, de 0'206 a 0'208.

Funde a una temperatura que varía entre 1200 y 1300 grados centígrados.

Puede soportar esfuerzos mecánicos enormes cuando se aplican en sentido normal a los planos de sus hojas.

La siguiente tabla da algunas indicaciones interesantes sobre algunas clases de mica.

Origen	Resistividad en ohmios-cm.	Voltaje de ruptura (*) en voltios por milímetro
Madras . . .	15 a 133 $\times 10^{12}$	50000 a 80000
Bengala. . .	7 a 118 $\times 10^{12}$	40000 a 120000
Canadá . . .	0'44 a 22 $\times 10^{12}$	80000
Sudamérica.	39 $\times 10^{12}$	40000 a 90000

La mica rusa es la que mejor resiste las elevadas temperaturas.

Como derivados de la mica tenemos el papel, las placas y aislamientos moldeados. En muchos casos los residuos de mica se pegan, mediante un material aglomerante, sobre papel o tela, en capas alternadas.

Los condensadores construídos con mica conservan su capacidad y aislamiento mejor que los construídos con otros materiales, y también ofrecen mayor voltaje de ruptura. Sin embargo, el coste por microfaradio de los condensadores de mica es unas diez veces mayor que en los condensadores de papel. Su empleo queda reducido a los casos en que el dieléctrico deba resistir esfuerzos mecánicos. No obstante, los condensadores de laboratorio y los patrones son todos de mica. Esta clase de condensadores deben satisfacer las condiciones siguientes:

(1) Capacidad invariable con el tiempo.

(2) Capacidad constante entre los límites prácticos de temperatura.

(3) Alto aislamiento y baja absorción.

Para cumplir la condición (1) es necesario que las

(*) Todos los ensayos han sido hechos en espesores de 0'3 milímetros.

láminas de mica y las hojas de estaño sean perfectamente lisas y de espesor homogéneo, a fin de que queden bien adaptadas mediante una presión conveniente. Además, es indispensable que queden totalmete eliminadas las burbujas de aire que pudieran quedar encerradas entre las armaduras y el dieléctrico.

Para satisfacer la condición (2) se hace uso de una propiedad muy notable descubierta por Mr. A. Muirhead; esta es la propiedad que tiene la mica impregnada de resina de tener un coeficiente de temperatura positivo, mientras que si se impregna con parafina, su coeficiente de temperatura es negativo. Combinando estos dos compuestos se podrán construir condensadores cuyo coeficiente de temperatura sea prácticamente nulo.

La condición (3) depende casi exclusivamente de la calidad de mica empleada. Hay que cuidar mucho que ésta sea de espesor uniforme y no presente venas ni cavidades, debiendo estar exenta de toda clase de puntos débiles motivados por impurezas. Todas estas cualidades se comprueban mejor cuanto más diáfana es la mica; por tal razón es la más empleada en esta clase de condensadores, en los cuales la cuestión del precio es bastante secundaria.

El vidrio.

Se emplea mucho como aislante debido a su alta resistividad y elevada rigidez dieléctrica a las temperaturas ordinarias. El elemento principal del vidrio es

la sílice cuya proporción varía de 50 a 75 por ciento; los demás componentes son: potasa, sosa, óxido de plomo y arcilla en diferentes proporciones.

Su densidad varía de 2'5 a 4'5. Su resistencia a la ruptura es de 400 a 4000 kg. por centímetro cuadrado.

La resistividad del vidrio a las temperaturas ordinarias es del orden de 10^{13} a 10^{18} ohmios cm., pero decrece con gran rapidez al aumentar la temperatura. Gray y Dobbie encontraron que el vidrio a base de potasa tiene mayor resistividad que el vidrio a base de sosa, y que una mezcla de ambos aumentaba considerablemente la resistividad de cada uno de ellos. La humedad se condensa fácilmente sobre su superficie, presentando así un camino a la electricidad que hace disminuir considerablemente su poder aislante. Su rigidez dieléctrica varía de 6000 a 12000 voltios por milímetro de espesor. En los espesores muy pequeños, estas cifras son todavía más altas.

Hasta hace relativamente pocos años, los condensadores con láminas de vidrio no pasaban de ser un elemento explicativo en las cátedras, sin ninguna aplicación real en la práctica. Sin embargo, en la actualidad su uso se ha extendido bastante, siendo sus aplicaciones principales las de formar parte de los circuitos de telegrafía y telefonía sin hilos, aplicándose también como aparato auxiliar en las instalaciones de Rayos X y de alta frecuencia, y, en general, en todos aquellos casos en que los condensadores deban soportar altas o medianas tensiones.

El papel.

Se fabrica partiendo de la madera, pulpa, trapos o fibras vegetales. Las operaciones principales de su manufactura son:

1.ª Reducción de las substancias crudas a la consistencia de pulpa muy fina, mediante el empleo de agentes químicos y vapor de agua.

2.ª Pasar dicha pulpa a través de cribas continuas de malla muy fina, que separan las fibras demasiado grandes, que han de ser tratadas de nuevo.

3.ª Formación de la pasta, la cual se lamina y se seca.

Construído el papel, aun contiene vestigios de los materiales colorantes empleados, y frecuentemente cierta cantidad de substancias pesadas, como carbonato y sulfato cálcicos, y otros productos minerales inertes. En ciertos casos se añaden determinadas substancias orgánicas o minerales con el objeto de disminuir su porosidad y obtener superficies más lisas.

Las propiedades mecánicas del papel dependen exclusivamente de las primeras materias empleadas. Uno de los más resistentes es el papel de lino, conocido también con el nombre de "papel Manila".

Debido a su gran porosidad, el papel es muy higroscópico; normalmente contiene de 7 a 12 por 100 de humedad. Cuando está muy seco presenta gran resistividad, del orden de 10^{15} ohmios cm., pero fácilmente absorbe agua, y entonces desciende a la categoría de mal conductor. En el papel natural, convenientemente seco, la rigidez dieléctrica varía de

4000 a 9000 voltios por milímetro de espesor. Estos valores pueden aumentarse fácilmente cuando se trate de papeles muy secos. La máxima temperatura de seguridad es de 80 a 90 grados C.

Las cualidades del papel aumentan considerablemente mediante ciertos tratamientos, entre ellos la impregnación con aceite de linaza oxidado, o con una mezcla de aceite oxidado y asfalto, o con barnices a base de goma, etc. En papeles muy bien tratados, y cuyos espesores varíen de 0'15 a 0'30 milímetros, el voltaje de ruptura varía de 20000 a 30000 voltios por milímetro.

En los condensadores de papel, éste se emplea generalmente en estado natural, y antes o después de la fabricación se le impregna de diversas substancias, ya solas, ya mezcladas entre sí, como son parafina, cera, resina, petróleo, aceites minerales, etc.

Dimensiones de los condensadores.

La fórmula siguiente da una de las dimensiones más interesantes de los condensadores, como es la anchura de las hojas de estaño. Al entrecruzarse las hojas de ambas armaduras, sucede que la superficie de condensación es un cuadrado cuyo lado es *l* precisamente. (Véase la fig. 12.)

$$l = \sqrt{\frac{C L_t}{2'24\, N k} \times 10^7}$$

C = capacidad que ha de tener el condensador, en microfaradios.

L_t = distancia que separa las dos armaduras, en pulgadas.
N = número de hojas que constituyen el dieléctrico.
k = capacidad inductiva específica del dieléctrico.
l = dimensión menor de las hojas de estaño, en pulgadas.

CAPACIDAD INDUCTIVA ESPECÍFICA DE DIVERSOS MATERIALES.

Mica	4 a 8	Parafina	2 a 2'3
Vidrio	5'5 a 10	Cera	1'86
Papel parafinado .	2 a 3'3	Resina	3 a 3'6
Celuloide	4'2 a 16	Petróleo	2 a 2,25
Gelatina	4 a 6	Aceite mineral.	2 a 5

Condensadores electrolíticos.

Ciertos metales, como el aluminio, el magnesio y el tántalo, sumergidos en un baño electrolítico, tienen la propiedad de dejar pasar la electricidad en una dirección y de impedir su paso en la dirección opuesta, mientras la fuerza electromotriz aplicada no pase de ciertos valores críticos. Por consiguiente, si ambos electrodos están constituídos por alguno de los metales antes citados, la célula así formada impedirá, prácticamente, el paso de la electricidad en cualquier sentido, formando, por lo tanto, un verdadero condensador. Estos condensadores se construyen en la

práctica, empleando exclusivamente el aluminio, y pueden ofrecer bastante capacidad sin que su coste sea excesivo.

El mayor inconveniente que ofrece su empleo, en comparación con los condensadores secos, es la proporción mucho mayor de pérdidas en los mismos. Por esa causa su uso en la práctica ha quedado reducido, como se dijo anteriormente, a los circuitos de protección contra las sobretensiones y descargas atmosféricas de las líneas de distribución a alto y mediano potencial, en donde funciona escasas veces, y en los casos de funcionamiento las pérdidas que en ellos se producen no tienen importancia alguna.

Voltaje crítico.

Se llama voltaje crítico de un condensador electrolítico aquel valor de la fuerza electromotriz aplicada en el cual empieza a pasar a través del electrolito una cantidad apreciable de corriente. El valor del voltaje crítico, aparte de la temperatura, depende exclusivamente de la naturaleza del electrolito empleado.

La siguiente tabla da el voltaje crítico de los electrolitos más comúnmente empleados en esta clase de células.

Sulfato sódico	40	voltios
Permanganato potásico	112	»
Cromato amónico.	122	»
Cianuro potásico.	295	»
Carbonato amónico	425	»
Silicato sódico.	445	»
Fosfato amónico	460	»
Citrato amónico	470	»
Borato sódico	480	»

El fenómeno de condensación de estos baños se explica por el hecho de que bajo la influencia del potencial eléctrico se forma en la superficie de los electrodos una fina película de óxido o hidróxido alumínico, cubierta por una finísima capa de gas, cuya resistencia alcanza varios millones de ohmios por centímetro cuadrado. Por consiguiente, en cada célula habrá de hecho dos condensadores en serie, cuyas armaduras serán uno de los electrodos de aluminio y el electrolito, y el dieléctrico estará constituído por la película de óxido y la capa de gas.

Capacidad de los condensadores electrolíticos.

La capacidad de esta clase de condensadores depende exclusivamente del voltaje aplicado y de la naturaleza de los electrodos, siendo independiente de la naturaleza del electrólito.

Es imposible establecer mediante una fórmula cuál será la capacidad de un condensador de esta clase. Las gráficas de la figura 7 dan la capacidad en microfaradios por centímetro cuadrado de placa en función del voltaje aplicado, para los tres casos de que los electrodos sean de aluminio, de magnesio o de tántalo.

Cuando el voltaje aplicado pasa de un valor pequeño a otro valor superior, el espesor de la capa de gas aumenta, tardando algunos minutos en llegar a su valor final. Al pasar de un voltaje elevado a otro inferior la operación es mucho más lenta, pues transcurren meses para que el espesor de dicha capa

disminuya hasta su valor normal. Se ve que el condensador electrolítico actúa como un condensador seco, con la única variante de que su dieléctrico es intercambiable. Se comprende también que cuanto mayor

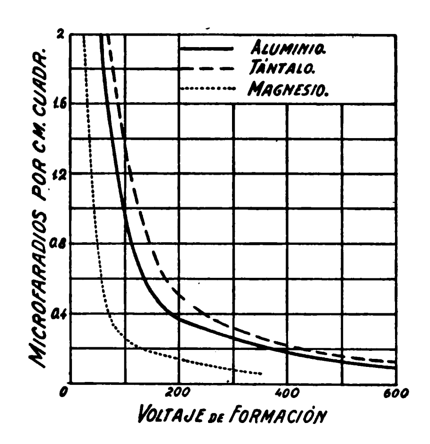


Fig. 7

sea el voltaje, menor será la capacidad del condensador.

Cuando los condensadores electrolíticos se intercalan en circuitos de corriente alterna, hay que tener la precaución de formar la película de gas mediante la aplicación, durante cierto tiempo, de una fuerza electromotriz continua de valor igual a la fuerza electromotriz máxima alterna que deba soportar.

Las pérdidas de energía son insignificantes cuando funcionan a bajo voltaje; pero aumentan consi-

derablemente cuando el voltaje aumenta. Por esta razón se recomienda, para los voltajes elevados, la instalación de varios condensadores conectados en serie, con lo cual, aunque el coste sea superior, el rendimiento viene muy mejorado.

Condensadores rotativos.

Un condensador rotativo es sencillamente un motor sincrónico funcionando en ciertas condiciones especiales. Por esta razón omitiremos todo cuanto se refiere a construcción y características de estas máquinas, por ser ello más apropiado a un curso de motores eléctricos, limitándonos a estudiar su funcionamiento cuando hace el oficio de condensador en los circuitos de corriente alterna.

La característica principal de los motores sincrónicos (de aquí su nombre) es la de funcionar a velocidad rigurosamente constante, cualquiera que sea su carga. Otra cualidad esencial de los mismos es la de que una variación en su excitación influye únicamente en el sentido de modificar la separación entre el voltaje aplicado y la corriente absorbida.

Supongamos que se trata de un motor sincrónico funcionando en vacío, o sea, sin que preste energía a ningún otro mecanismo. La potencia que dicho motor absorba de la línea será únicamente la necesaria para compensar sus pérdidas propias, procedentes de los rozamientos en los cojinetes y de la resistencia del aire, además del calentamiento de los conductores y de las pérdidas por corrientes de Foucault en

los circuitos magnéticos. Estas pérdidas son sensiblemente constantes para la marcha en vacío, cualquiera que sea la separación o divergencia entre la tensión aplicada y la corriente en el motor.

La potencia absorbida viene expresada por la fórmula:

$$W = U I \cos \theta .$$

Como el valor de U es constante y W también, al variar la excitación, las magnitudes $\cos \theta$ e I irán también variando en el sentido de que su producto sea una magnitud constante. Por consiguiente, cuanto mayor sea el ángulo θ, mayor será también la intensidad I.

Supongamos, en primer lugar, que el motor funciona casi desexcitado (Fig. 8, caso A). Entonces el circuito del motor obrará sobre la línea como una pura reactancia, lo cual motivará que la corriente vaya muy retrasada con respecto de la tensión. Conforme vayamos aumentando la excitación, el ángulo θ irá disminuyendo hasta llegar al valor cero; en este caso la corriente I estará en fase con la tensión aplicada U (Caso B). Ahora bien, si continuamos excitando, la corriente empezará a adelantarse respecto de la tensión, siendo este adelanto mayor, cuanto mayor sea la excitación (Caso C).

Si recordamos lo que se dijo al final del capítulo primero, vemos que un motor sincrónico sobreexcitado obra sobre los circuitos alternos de una manera idéntica a la que obraba un condensador, siendo esta la razón de que dichas máquinas se clasifiquen como condensadores, sin que presenten su principal característica, o sea, la propiedad de admitir y retener

cierta carga eléctrica para devolverla en momento oportuno.

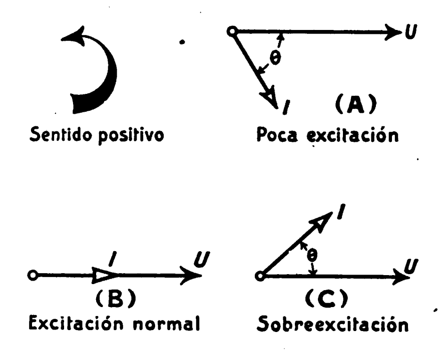


Fig. 8
Influencia de la excitación

Se comprende perfectamente que estas máquinas pueden llegar a tener capacidades enormes, puesto que se construyen motores sincrónicos (que pueden servir indistintamente de alternadores) para corrientes de carga muy elevadas.

CAPÍTULO III

FABRICACIÓN DE CONDENSADORES

Condensadores de placas.

Cuando el dieléctrico de los condensadores está constituído por placas, ya sean éstas de mica, vidrio o cartón, la manera de construirlos es en un todo análoga, especialmente en lo que se refiere a la forma y distribución de las armaduras y del dieléctrico. No nos detenemos en la construcción de las botellas de Leyden, por haber quedado este asunto suficientemente tratado en el capítulo primero, aparte de que actualmente su aplicación en la industria es nula, y únicamente se encuentran en museos y centros de enseñanza, como elemento histórico muy interesante.

Con el objeto de tener la máxima capacidad con el volumen mínimo, siendo todas las dimensiones lo más reducidas posible, el dieléctrico y las armaduras se distribuyen, en los condensadores de placas, en la forma indicada esquemáticamente en la figura 9. Con ello se logra que ambas caras de cada lámina de estaño estén enfrente de otras láminas de estaño de la armadura opuesta.

La construcción es muy sencilla; basta ir colocando placas de dieléctrico y hojas de estaño alternati-

vamente, colocándose en los extremos una o más placas de dieléctrico; luego se conectan entre sí todas las hojas de estaño de orden par que constituirán

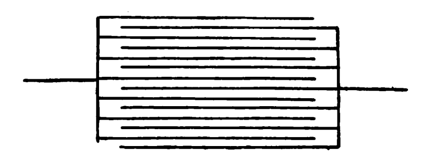


Fig. 9
Esquema de un condensador

una de las armaduras, haciéndose después lo mismo con las hojas de orden impar.

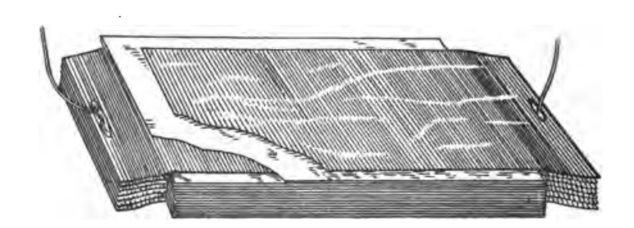


Fig. 10
Condensador de placas

La figura 10 da una idea clara de esta construcción, al mismo tiempo que en ella se ven ciertos detalles que tienen mucha importancia. En efecto, se

ve que las hojas de estaño son de tamaño inferior a las placas del diámetro, dejando una banda bastante ancha en todo alrededor, excepto por la cara en que tiene lugar la interconexión de las hojas de es-

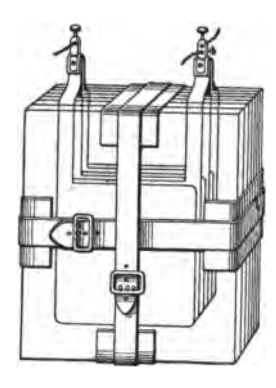


Fig. 11
Condensador con placas de vidrio

taño de la misma armadura. Esta construcción tiene por objeto evitar en lo posible que se establezcan las llamadas corrientes superficiales o corrientes de fuga, cuyo paso está favorecido, aparte de otras consideraciones, por la humedad e impurezas que sobre dicha superficie pudieran quedar depositadas. Una prueba de la importancia que tiene el cuidado de este detalle es la de que, en caso de fuertes sobretensiones, salta la chispa a través de las armaduras pasando por la superficie del dieléctrico, cuando dicho dieléctrico hubiera podido soportar todavía tensiones

más fuertes sin que saltase la chispa a través de su masa. La figura 11 representa un condensador para alta tensión con dieléctrico formado por láminas de vidrio, construído por la casa A. Gaiffe, de París,

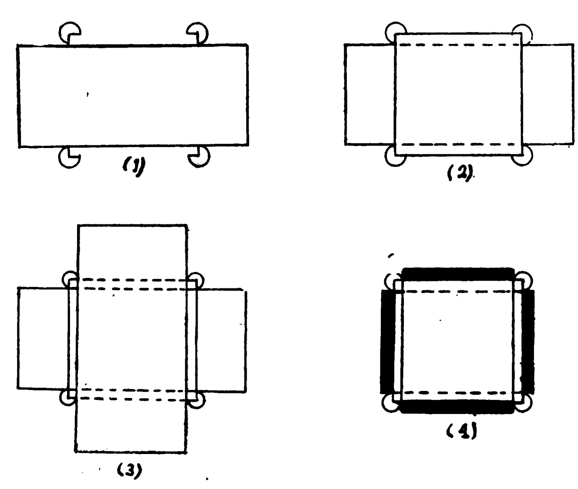


Fig. 12
Construcción de un condensador de placas

y destinado a aplicaciones de alta frecuencia, En él se ve bien claramente el cuidado que han puesto los constructores en asegurar la anchura del dieléctrico para evitar las corrientes superficiales.

En la figura 12 está indicado uno de los procedimientos para la construcción de esta clase de condensadores. Las placas del dieléctrico son cuadradas. So-

bre un tablero se colocan cuatro guías verticales por cuyas ranuras ajustan perfectamente las placas del dieléctrico. En el diagrama (1) una de las hojas de estaño está colocada entre las guías; en el diagrama (2) se ha colocado encima de dicha hoja una

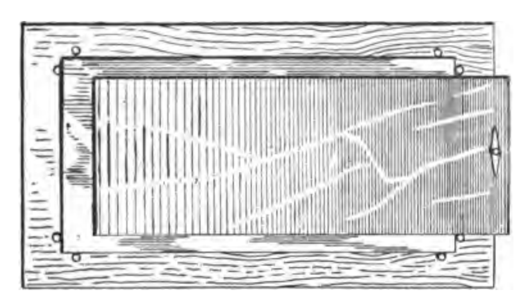


Fig. 13
Construcción de un condensador de placas

placa del dieléctrico. En (3) se ha colocado otra hoja de estaño en sentido perpendicular a la colocada en (1). Este proceso se va repitiendo hasta que se han colocado todas las hojas de estaño que deben constituir las armaduras del condensador, soldándose luego entre sí por medio de una pieza sólida todas las partes salientes de las hojas de estaño, en la forma indicada en el diagrama (4).

Otra manera de proceder es la representada en la figura 13, que no difiere mucho de la anterior. La principal diferencia estriba en que el dieléctrico puede tener una forma rectangular cualquiera y en que

las hojas de una misma armadura sólo vienen soldadas por uno de sus extremos. Este modo de construcción es, seguramente, mucho más empleado que el anterior.

Montado el condensador, cuando el dieléctrico es de vidrio, ya no hay que hacer otra operación más que sujetarlo rígidamente, lo cual puede hacerse en forma análoga a la indicada en la figura 11. Estos condensadores trabajan generalmente al aire, o mejor en un baño de petróleo.

Si el dieléctrico está constituído por mica o un material fibroso, como papel, cartón, etc., a las operaciones de montaje hay que añadir las de desecación, impregnación y prensa.

Los procedimientos y aparatos que se emplean en las operaciones de desecación e impregnación son en un todo análogos a los que se describen en la segunda parte de esta obra al tratar de la desecación e impregnación de los carretes. En los condensadores el material impregnante es generalmente la parafina, la cual, además de ocupar los espacios que de otra manera quedarían llenos de aire, tiene la propiedad de aumentar la capacidad inductiva específica de los dieléctricos con ella impregnados. Cuando se quiera obtener una substancia impregnante más económica puede emplearse una mezcla de partes iguales de cera y resina, o mejor aún, en la proporción de una parte de cera por tres de resina. Estas operaciones se verifican siempre antes del montaje de los condensadores.

Cuando el condensador está montado se procede a prensarlo; esta operación puede ejecutarse de dos maneras distintas. Una de ellas consiste en utilizar el tablero y las guías que sirvieron para el montaje,

en la forma siguiente: Se toma una tabla de madera de 2 a 3 centímetros de espesor que presente tantos agujeros como guías tiene el tablero y dispuestos en la misma forma que dichas guías. Se pasa la ta-



Fig. 14
Sección de un condensador en la prensa

bla por las guías de manera que venga a apoyarse en el empilado que constituye el condensador. Como las guías en la mayor parte de su longitud están roscadas, se les atornillan unas tuercas que al irse apretando aumentan gradualmente la presión de la tabla contra el condensador, hasta que dicha presión adquiere un valor suficientemente grande para que se pueda dar la operación por terminada.

Otro procedimiento es el empleo de una prensa en la forma ilustrada por la figura 14. La sola ins-

pección de la figura basta para hacerse cargo del funcionamiento, sin necesidad de explicación.

Mientras se prensa se ha de procurar que la temperatura del condensador sea lo suficientemente elevada para que la substancia impregnante se mantenga en estado líquido, con lo cual se consigue que al sacar el condensador, después de enfriado en la misma prensa, presente una contextura muy sólida, de manera que sus diversas partes constitutivas formen un todo único.

Hay que tener muy presente que la bondad de los condensadores así fabricados depende principalmente de la rapidez con que se lleven a cabo las diversas operaciones que constituyen su manufactura. El efecto principal de la rapidez es evitar que las substancias empleadas tengan tiempo suficiente para absorber tal grado de humedad que haría que el funcionamiento del condensador fuera desastroso.

CAPÍTULO IV

CONDENSADORES DE PAPEL

Dedicaremos un capítulo completo al estudio de la construcción de esta clase de condensadores, por haber adquirido su manufactura extraordinaria importancia industrial.

Hasta hace unos veinte años, los condensadores con dieléctrico de papel se fabricaban todos colocando hojas de papel y de estaño alternadas, en forma análoga a la descrita en el capítulo precedente.

En 1899, Mr. John Gavey presentó al "Post Office" otro procedimiento cuya aplicación representaba algunas ventajas sobre los que hasta entonces estaban en uso. El procedimiento consistía en emplear una sola hoja metálica en cada armadura. Estas hojas tenían la forma de bandas muy largas, las cuales, separadas por tiras de papel de la misma forma, se arrollaban formando un cilindro o un paquetito aplanado. Pero se tropezó con el inconveniente de que las hojas de estaño más largas que se podían obtener no pasaban de 1'25 metros. En presencia de esta dificultad se presentaron dos soluciones: La primera consistía en arrollar dichas tiras de manera que entre cada hoja y la siguiente se estableciese una zona de contacto por simple presión de unos dos centímetros. No hay que decir que este procedimiento resultaba

muy engorroso, y apenas ofrecía ventaja sobre los anteriores.

La segunda consistía en construir las armaduras de una aleación de plomo y estaño, lo cual permitía formar láminas continuas de cualquier longitud; pero tenían la desventaja de que el espesor no podía ser, ni con mucho, tan pequeño como empleando estaño puro. Esta circunstancia era causa de que los condensadores así construídos resultaban muy pesados y voluminosos.

No obstante, ninguno de estos dos procedimientos resolvía la dificultad principal con que se tropezaba en la fabricación de los condensadores planos. Esta dificultad era ocasionada por la alta temperatura a que debían estar sometidas las habitaciones en que se fabricaban los condensadores. El hecho de que en Londres los obreros debían suspender en verano sus tareas, por no poderlas resistir, da idea de lo penosos que eran estos trabajos.

El verdadero adelanto de los condensadores de papel actuales se debe a Mr. G. F. Mansbridge, quien, contemplando un papel metalizado de los que se usan para envolver el te, tuvo la idea de que bajo dicho principio se podrían fabricar condensadores en los que la armadura y el dieléctrico formaran un solo cuerpo. El primer experimento que realizó fué desgraciado, pues al tratar de medir la conductibilidad de un papel cuya superficie parecía perfectamente metalizada comprobó que no era superior a la del papel sin metalizar.

Examinado al microscopio el papel metalizado, se pudo comprobar que la causa de aquella aparente contradicción provenía del hecho de que las masas metálicas adheridas a la superficie del papel eran

discontinuas, formando apelotonamientos separados unos de otros desde los puntos de vista eléctrico y mecánico.

Entonces fué cuando ideó el procedimiento para metalizar el papel mediante el empleo de una capa metálica eléctricamente continua.

La primera operación consiste en preparar el estaño por medio de procedimientos químicos o eléctricos hasta reducirlo al estado de polvo impalpable.

El lingote de estaño, previamente machacado, se disuelve en una disolución de ácidos nítrico y clorhídrico, la cual se filtra convenientemente hasta la eliminación total de las impurezas en suspensión. Luego se precipita el estaño mediante cinc metálico, o por la acción de una corriente eléctrica débil. Cuanto más finas e iguales resulten las partículas de estaño, más delgadas, lisas y uniformes serán las capas de metal adheridas al papel, y, por consiguiente, mejor será la calidad de los condensadores que con ellos se construyan.

Después de precipitado el polvo, se lava repetidas veces, con el objeto de eliminar los menores vestigios de ácido, pasándose luego a través de cribas de malla pequeñísima; con esta operación se consigue separar los gránulos de mayor tamaño, al mismo tiempo que las impurezas de carácter sólido que pudiera contener.

Por medio de una substancia aglomerante se forma con el polvo de estaño una pasta, y en este estado pasa directamente a las máquinas metalizadoras. Éstas van provistas de unos cepillos rotatorios y unos esparcidores, de manera que el metal quede uniformemente distribuído sobre el papel a medida que éste va pasando a través de la máquina.

En algunas máquinas las tiras de papel se pasan luego a través de cilindros calientes, con el objeto de secar rápidamente la capa metálica; pero este procedimiento reduce la fuerza adhesiva del aglomerante; por tal razón es preferible secar el papel metalizado un poco más lentamente, valiéndose, por ejemplo, de corrientes de aire caliente.

El papel seco presenta un color grisáceo y en apariencia es bastante tosco. Al hacer el examen microscópico se ve el papel cubierto de una masa de diminutas partículas cristalinas, que forman una capa de apreciable espesor.

El papel pasa entonces a través de los cilindros compresores, los cuales son pesadas piezas de acero que se mantienen a temperatura bastante elevada. Estos cilindros marchan a velocidades distintas, de manera que al mismo tiempo que prensan el papel metalizado provocan una fricción cuyo objeto es hacer que la película de estaño quede perfectamente continua. Esta película, después de pasar por los cilindros, ofrece un aspecto metálico argentino muy brillante.

Se comprende que durante el paso del papel por los cilindros todas las partículas de estaño y las impurezas sólidas cuyo tamaño sea apreciable se clavarán en el papel agujereándolo, pero este defecto se elimina mediante cierto tratamiento eléctrico que luego se describirá.

El papel pasa ahora por las máquinas cortadoras, en las que se ajusta y corta a la anchura deseada.

Es interesante notar que antes de pasar el papel por los cilindros, la película de estaño no era conductora, adquiriendo, por lo tanto, conductibilidad eléctrica durante dicha operación, y su resultado es

establecer un contacto íntimo entre cada partícula y sus vecinas. Es natural que un contacto así establecido no sea perfecto; pero ya es suficiente para las aplicaciones prácticas, pues se ha podido comprobar que la conductibilidad de una faja de estaño aplicada sobre papel por el anterior procedimiento vale el 50 por 100 de la conductibilidad de una película de estaño metálico laminado de idéntico espesor.

Con los espesores que usualmente se dan a la capa de estaño se comprueba que con un kilogramo de dicho metal se puede recubrir una superficie que oscila alrededor de 60 metros cuadrados. El espesor se hace de unas 0'0025 de milímetro.

Si se considera que el papel, después de metalizado, es semitransparente, resulta sorprendente la densidad de corriente que puede admitir, puesto que necesita un amperio por cada 25 milímetros de anchura para fundirse en el aire, siendo el espesor normal, y sin que se hayan producido arrugas de ninguna clase. Si el papel se arrolla de manera que los dobleces sean cilíndricos, aunque los radios sean muy pequeños, la continuidad de la capa metálica no se altera; pero si está doblada formando aristas, de manera que el estaño esté sometido a acciones de tensión o compresión, la corriente de fusión es algo más baja. Aumentando el espesor de la capa de estaño, el efecto de los pliegues disminuye considerablemente; pero esto no es necesario, ya que el amperaje que deben soportar normalmente estos condensadores no es muy elevado, y además, porque los dobleces en el centro del rollo, que son los más peligrosos, no son muy pronunciados.

Obtenidas ya las bandas de papel metalizado, es

de suma sencillez la construcción de los condensadores, pues sólo es necesario arrollar al mismo tiempo dos tiras de papel metálico colocadas entre otras dos tiras de papel ordinario, dependiendo el número de vueltas de la capacidad exigida.

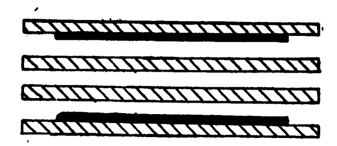


Fig. 15
Distribución de las tiras de papel

La intercalación de las bandas de papel puede hacerse de dos maneras diferentes. Una de ellas consiste en situar las tiras de papel metalizado de manera que las partes metálicas queden una frente a otra (figura 15), intercalando las dos bandas de papel sin metalizar en medio de las anteriores. Así se consigue que al arrollar las cuatro tiras siempre quedan dos espesores de papel entre las capas metálicas.

El otro procedimiento consiste en colocar los papeles metalizados de forma tal, que las partes metálicas tengan la misma posición (figura 16), poniendo uno de los papeles sin metalizar entre los dos metalizados y el otro en la parte exterior. Este expediente es más recomendable que el anterior, por resultar el dieléctrico más homogéneo, puesto que entre cada dos partes metálicas queda siempre un espesor de papel metalizado y otro de papel sin metalizar, mientras en

el procedimiento primeramente descrito quedaban por un lado de las tiras de estaño dos espesores de papel sin metalizar y por el otro lado dos de papel metalizado, lo cual producía indudablemente un desequi-

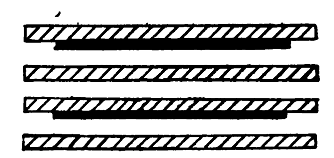


Fig. 16
Otra distribución de las tiras de papel

librio desde los puntos de vista de la rigidez dieléctrica y la capacidad inductiva específica entre ambas caras de las láminas que constituyen las armaduras.

El arrollamiento del papel se hace mediante mandriles de diferentes diámetros. La diferencia de diámetros sólo tiene por objeto el poder servir formas diferentes, puesto que la mayor o menor capacidad sólo depende del número de vueltas para una misma anchura de las láminas. Cuando el condensador deba estar constituído por un número pequeño de vueltas la operación se hace a mano. Si el número de vueltas es superior a un centenar, la operación se hará mecánicamente por medio de un contador de revoluciones.

En este segundo caso, el principio de la operación debe realizarse también a mano, así como la inserción de las bandas metálicas que han de constituir los bornes del condensador. Estas bandas consisten en delga-

das cintas de cobre aleado de un centímetro de ancho por 0'025 de milímetro de espesor, que se conectan eléctricamente a las armaduras mediante simple contacto, poniéndolas entre la cara metálica de una tira de papel metalizado y otro papel intermedio, y en esta posición se mantiene por adherencia. Es conveniente conectar estos bornes en las proximidades del punto medio de las tiras, con lo cual se logra que las corrientes de carga y de descarga queden divididas en dos; pero si los bornes se conectasen en los extremos, las corrientes de carga y de descarga pasarían íntegras a través de cada armadura.

Uno de los puntos más interesantes de la fabricación de esta clase de condensadores es la corrección de los puntos débiles que hayan podido quedar en el papel metalizado; prueba a la cual se hizo alusión anteriormente. El procedimiento seguido para evitar los cortos circuitos entre las armaduras no puede ser más sencillo, pues consiste en provocar previamente dichos cortos circuitos; mediante esta operación los puntos débiles quedan automáticamente reforzados desde el punto de vista eléctrico. Esta autocorrección de defectos de aislamiento se verifica de la siguiente manera:

Debido al ínfimo espesor de la película conductora, la pequeña cantidad de calor desarrollada en el punto de corto circuito basta para fundir y aun vaporizar el estaño que se encuentra en las proximidades del punto débil, con lo cual se logra que dicho punto quede eléctricamente separado del resto de la armadura, y, por consiguiente, sin efectos perniciosos sobre el buen funcionamiento del condensador. El tiempo que tarda en verificarse esta corrección y la corriente absorbida durante la misma son tan pequeños, que

basta la propia carga de un condensador, cargado especialmente con este objeto, para corregir doce o más puntos débiles de su dieléctrico, uno después de otro, hasta haberse descargado totalmente. Este hecho explica el que esta clase de condensadores puedan usarse para voltajes bastante superiores a los que podrían resistir los condensadores de placas de idénticas condiciones, puesto que en el mismo instante en que aparece un corto circuito queda éste totalmente eliminado, sin que se altere por ello la buena marcha del condensador.

Sin embargo, es mejor corregir estos defectos antes del montaje de los condensadores. El aparato encargado de llevar a cabo esta operación no ofrece dificultad alguna especial.

La maniobra esencialmente necesaria consiste en hacer pasar el papel por la cara no metalizada, por la superficie de un cilindro metálico, cuidando de mantener una diferencia de potencial conveniente entre dicho cilindro y la faja de estaño del papel. Cuando algún punto débil del papel entra en contacto con el cilindro hay un paso de corriente momentáneo alrededor del punto débil, produciéndose una chispita, con todo lo cual se logra que el estaño retroceda de las cercanías del punto averiado. El procedimiento es completamente automático, y lo único que hay que vigilar es que la corriente de corto circuito no sea tan débil que no llegue a provocar la fusión y volatilización del estaño, y que tampoco sea tan fuerte que llegue a quemar el papel. Como se comprenderá, las señales que quedan en el papel metalizado después del corto circuito son casi microscópicas.

La manera de distribuir los mecanismos para esta operación está indicada esquemáticamente en la figu-

ra 17. Entre los rodillos segundo y cuarto hay que intercalar un relais de mínima para el arranque del motor, pues de no ser así, aunque se trata de un motor muy pequeño, la corriente de arranque sería lo

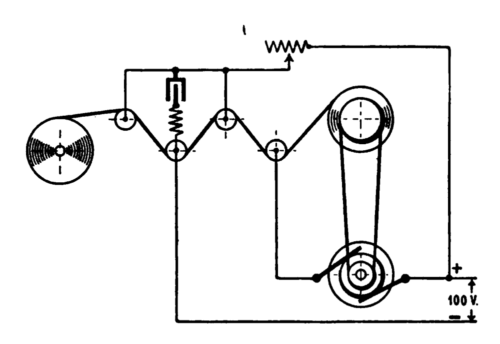


Fig. 17

Esquema de conexiones para el tratamiento eléctrico del papel metalizado

suficientemente grande para provocar la fusión de la capa de estaño, que vendría a obrar como un perfecto cortacircuitos. Debe procurarse que la velocidad de arrastre del rodillo tractor se halle comprendida entre los límites de 15 a 30 metros por minuto. El condensador de 20 microfaradios que se ve en el esquema tiené por objeto aumentar la rapidez e intensidad de las descargas en los puntos débiles. La operación debe hacerse con corriente continua cuyo voltaje sea aproximadamente igual a la mitad del voltaje de prueba a que se ha de someter el condensador después de terminado.

Cuando se han eliminado los defectos y se han arrollado las bandas de papel metalizado y sin metalizar hasta constituir los condensadores en su primer estado, se procede a secarlos. La desecación debe ser completa y uniforme, si se quieren alcanzar altos valores para el aislamiento. Para esta operación se usan hornos de gas, a vapor y eléctricos, siendo estos últimos los verdaderamente recomendables, pues con su empleo se consigue concentrar el calor en los sitios en que realmente hace falta, sin que se pierda gran cantidad por radiación; carencia total de humos y gases, de peligros de explosiones, etc., etc. En un horno eléctrico de unos 700 decímetros cúbicos de capacidad pueden secarse cómodamente quinientos condensadores de dos microfaradios de capacidad, consumiendo únicamente una potencia de dos kilowatios.

El tiempo necesario para provocar una desecación completa varía según la temperatura del horno, la humedad relativa del aire y la intimidad del contacto entre el papel y el aire caliente.

La temperatura máxima viene limitada por el riesgo que se corre de provocar alteraciones de orden molecular en la celulosa del papel; por tal razón no es prudente pasar de la temperatura de 100 grados centígrados. Este procedimiento fué el que se empleó al principio, pero hubo que abandonarlo, porque, desde el punto de vista industrial, sus resultados eran pésimos. En efecto, para secar por este método condensadores constituídos por unas pocas capas de papel, se tardaba de tres a cuatro días, disponiéndose en forma especial que permitiese al calor llegar fácilmente a las capas interiores. Si se tiene en cuenta que la generalidad de los condensadores están formados por unas cien capas de las cuatro hojas de papel (fi-

guras 15 y 16), lo cual supone un total de unos 800 espesores, se comprenderá que este procedimiento es completamente inadmisible.

Lo que se hace es provocar la formación de calor en el interior del mismo condensador, para lo cual se conectan entre sí los extremos exteriores de las armaduras y se aplica a sus bornes una corriente tal que por efecto Joule, eleve la temperatura hasta un valor conveniente.

Empleando este método se vió que a la potencia eléctrica consumida por el horno había que añadir 4 watios por cada condensador de dos microfaradios, efectuándose la desecación en un tiempo comprendido entre 8 y 12 horas, pudiéndose mantener una temperatura de 130 grados centígrados en el interior del condensador sin que el papel se resquebrajase.

Ya secos los condensadores, hay que impregnarlos de parafina. Las ventajas del empleo de la parafina son principalmente tres, a saber:

1) Aumentar la capacidad inductiva específica del dieléctrico.

2) Impedir que la humedad exterior llegue al papel, que es altamente higroscópico, y

3) Mantener el condensador en forma compacta y rígida.

La capacidad inductiva específica del papel y aire que separa las armaduras antes de la impregnación es, aproximadamente, de 1'2; aumentando este valor hasta la cifra 3'2 cuando las capas de aire han sido substituídas por otras de parafina, y naturalmente, cuanto mayor sea la cantidad de aire reemplazada por parafina, mejores serán los resultados; por tal razón es muy ventajoso impregnar los condensadores en el vacío.

La cera caliente penetra muy fácilmente en el papel, siendo suficiente mantener los condensadores durante varias horas en un baño de parafina a 100° C. para que queden completamente impregnados. Sin embargo, al comparar los ensayos verificados con condensadores impregnados a la presión atmosférica con los impregnados en vacío se vió que, a igualdad de todas las demás circunstancias, los condensadores impregnados en vacío ofrecían una capacidad superior en un 11 por ciento, por término medio, sobre los condensadores impregnados a la presión ordinaria. Esto significa que para obtener una misma capacidad, si se emplea la impregnación en vacío, se pueden obtener los condensadores con un 11 por ciento menos de materia que en el caso de emplearse el otro procedimiento, a parte de que quedan mucho mejor acabados, eliminándose casi por completo las burbujas interiores de aire, que es lo que a la larga acaba por destruir los condensadores.

La impregnación en vacío acostumbra a verificarse en calderas calentadas por gas, cuya capacidad es de unos 150 condensadores de 2 microfaradios. Los condensadores se apoyan sobre un emparrillado metálico que está a 2 ó 3 centímetros del fondo de la caldera. Ésta se cierra herméticamente por la parte superior, de la cual sale un tubo que la pone en comunicación con la bomba neumática, que es la encargada de mantener el vacío en el interior de la caldera durante la impregnación.

Si el vacío es bastante considerable, basta una impregnación de unas dos horas a 100° C. para dejar los condensadores en condiciones bastante perfectas. Después de esta operación se dejan durante diez minutos a la presión atmosférica; pasado este tiempo

se extraen de la caldera y se llevan con la mayor rapidez posible a las prensas.

Se ha comprobado que la aplicación de una sobrepresión después del vacío no introducía ventaja alguna en los condensadores; por esta razón las operaciones se llevan siempre a cabo en la forma primeramente descrita.

El método de prensar los condensadores y las manipulaciones de que son objeto en esta parte de su fabricación son de una importancia capital. En primer lugar, es evidente que a mayor presión la distancia entre armaduras será menor y, por consiguiente, mayor la capacidad. Por esta razón en muchas fábricas se emplean prensas hidráulicas, que ejercen sobre los condensadores presiones enormes. Sin embargo, pueden oponerse muchas objeciones al empleo de las prensas hidráulicas.

En efecto; se ha comprobado que bajo la acción de grandes presiones, la parafina tiene tendencia a salir de los poros del papel, quedando éste higrométrico, de manera que a la menor fisura que aparezca en la superficie del condensador, la humedad penetra en su interior, deteriorándolo rápidamente.

Además, la aproximación excesiva de las armaduras facilita los cortos circuitos entre las mismas, y aunque éstos se reparan automáticamente, se ha visto que donde saltó la chispa queda un defecto en el aislamiento en el caso de estar las armaduras excesivamente próximas.

Por otra parte, la disminución en el aislamiento que experimentan los condensadores sometidos a grandes presiones no la compensa el aumento en la capacidad que con dicha operación se obtiene.

Además, también se tropieza con inconvenientes de

orden mecánico, porque para una perfecta utilización de la prensa hay que prensar muchos condensadores a la vez, lo cual implica diferencias en la rapidez de enfriamiento entre los que se encuentran en el interior y los exteriores, lo cual se traduce en una diferencia muy notable de la manera en que se presenta la parafina en unos y otros condensadores.

Si los condensadores han de mantener su resistencia y capacidad durante algunos años, es indispensable que quede cierta cantidad de parafina entre las armaduras. Por esta razón el Post Office Americano pone como condición, en los condensadores que adquiere, que no deben haber sido prensados superpuestos.

La forma industrial más generalizada de prensar los condensadores es la de colocarlos en la prensa uno al lado del otro, pues hasta ahora se ha visto que es la que da mejores resultados desde todos los puntos de vista.

También se emplea la refrigeración con agua, con lo cual se aumenta considerablemente el rendimiento de las prensas, al mismo tiempo que con el enfriamiento rápido se consigue que, a pesar de la gran presión, quede en el interior de los condensadores una cantidad suficiente de cera para asegurar la buena marcha y duración del mismo.

La experiencia ha enseñado que la prensa que da mejores resultados es la de husillo.

Solidificada la parafina, se sacan los condensadores de la prensa y se llevan a una cámara o depósito a temperatura relativamente baja y desprovista de humedad, pues, contrariamente a lo que muchos creen, la parafina es bastante higroscópica; por esta razón es indispensable que las capas exteriores no absorban nada de humedad antes de que el condensador

quede herméticamente cerrado. Sin tal precaución quedarían completamente destruídos tan pronto como la humedad llegase al interior de la masa.

Muchos fabricantes han tratado de substituir la parafina por otros compuestos y mezclas, a las que han dado nombres más o menos arbitrarios, atribuyendo a cada substancia cierta propiedad o propiedades que las hacen preferibles en determinados casos. Sin embargo, es evidente que ninguno de dichos compuestos posee un conjunto de propiedades superior a las de una buena parafina. En algunos casos, por ejemplo, cuando los condensadores deban utilizarse en países tropicales, se emplearán compuestos cuyo punto de fusión sea bastante elevado; en países como el nuestro es suficiente una parafina que funda a unos 55° C.

Los condensadores para usos telegráficos y telefónicos suelen estar herméticamente cerrados en cajitas de plancha de hierro estañado. Los condensadores se introducen en dichas cajas, las cuales se llenan completamente de parafina, se cierran luego, dejando dos aberturas por las que deben salir los bornes, y estas aberturas se tapan con una mezcla no contráctil, cuya composición es la siguiente:

Guta . . .	20 partes.
Resina . .	14 idem.
Estearina .	6 idem.
Alquitrán .	14 idem.

Los condensadores se prueban en el laboratorio casi exclusivamente por el método llamado de la pérdida de carga, en cuya descripción no nos entretendremos por no formar parte del plan trazado en este ligero

estudio, y que puede encontrarse en cualquier tratado de mediciones eléctricas (1).

Los lectores que aspiren a ampliar sus conocimientos en este asunto, encontrarán materia abundante en las siguientes obras:

Bibliografía: ROSA, E. B. Y GROVER F. W., *Construction of a Condenser for a jumps-spark Coil*, publicado en el *American Electrician*, 1905; EHNERT, E. W., *Tehorie und Vorausberechnung der Funkeninduktoren*, publicado en *Electrotechnik und Maschinenbau*, 1907; MANSBRIDGE, G. F., *The Manufacture of Electrical Condensers*, publicado en el *Journal of proceedings of the Institution of Electrical Engineers*., 1908; SCHULZE, G., *Kondensatoren grober Kapazität*, publicado en *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 1909; MORDEY, W. M., *Some tots and uses of Condensers*· publicado en el *Journal of Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, 1909; CURTIS, H. L., *Mica condensers as Standards of Capacity*, Boletín del *Bureau of Standards*, 1910; GROVER, F. W., *The capacity and phase difference of paraffined paper condensers*, Boletín del *Bureau of Standards*, 1911.

(1) Véase el capítulo V del tomo XVIII de la primera serie de esta Biblioteca.

SEGUNDA PARTE

FABRICACIÓN DE CARRETES DE INDUCCIÓN

CAPÍTULO PRIMERO

CONSIDERACIONES GENERALES (1)

Definiciones.

Un carrete de inducción consta de dos circuitos. aislados entre sí: el primario 1 (fig. 1) y el secundario 2, sometido a la acción del primero. Si la corriente que circula en el primario es constante, como no hay variación de flujo, la fuerza electromotriz inducida en el secundario será nula y por lo tanto ninguna corriente circulará por él, y al contrario, si la corriente primaria varía, la consiguiente variación de flujo inducirá en el devanado secundario una f. e. m. inducida, y una corriente variable circulará por dicho secundario.

Con el fin de aumentar la acción inductiva de los dos circuitos, se devanan éstos sobre un núcleo F formado por planchas o alambres de hierro.

(1) Véase cap. IX del tomo I de la primera serie de esta Biblioteca.

Llámase circuito magnético el camino recorrido por las líneas de fuerza creadas por la imantación del

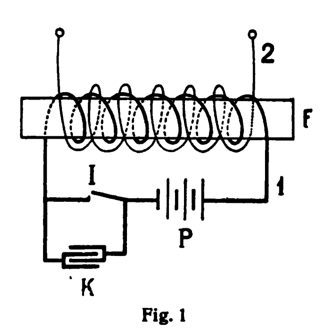


Fig. 1

núcleo F. Estas líneas de fuerza son siempre curvas cerradas (figs. 2 y 3) cualquiera que sea la forma del núcleo.

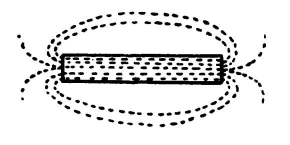


Fig. 2

Si el núcleo tiene la forma indicada en la figura 2 el circuito magnético se llama abierto, puesto que la mayor parte del trayecto de las líneas de fuerza se recorre a través del aire. Si la forma del núcleo es

la indicada en la figura 3 el circuito magnético se llama cerrado.

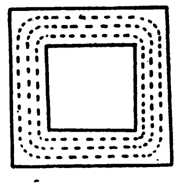


Fig. 3

El carrete secundario está generalmente dispuesto alrededor del primario y convenientemente aislados entre sí.

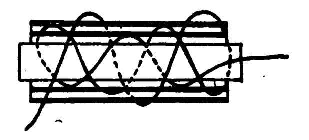


Fig. 4

El carrete secundario puede devanarse de dos maneras diferentes: por capas, como indica la fig. 4, o bien descomponiéndolo en varias secciones unidas eléctricamente, pero separadas por medio de tabiques aislantes (fig. 5).

Para producir las variaciones de corriente primaria necesarias para inducir la corriente secundaria,

se enlaza el primario a un generador de corriente continua P (fig. 1) por el medio de un interruptor I

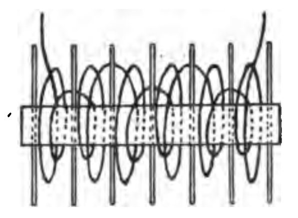


Fig. 5

destinado a abrir y cerrar periódicamente el circuito.

Cuando la corriente se establece en el primario, un flujo atraviesa el núcleo y, por consiguiente, el plano de las espiras secundarias (fig. 6).

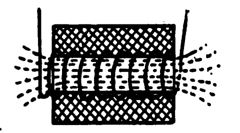


Fig. 6

Cuando se interrumpe la corriente primaria, salta una chispa en el punto de ruptura, al mismo tiempo que otra mucho mayor estalla entre los bornes del secundario. La primera es debida a la extracorriente de ruptura, dependiendo de la autoinducción del cir-

cuito primario. La segunda es producida por la autoinducción mutua que existe entre el primario y el secundario.

Para reducir la chispa primaria y aumentar la secundaria, se intercala en derivación con el interruptor I (fig. 1.ª) un condensador K formado de hojas de estaño o armaduras, separadas por capas de material aislante: papel, mica, vidrio, etc.

La fuerza electromotriz del generador de corriente continua engendra la corriente primaria, y la ruptura de ésta por medio del interruptor, desarrolla en los dos circuitos a la vez fuerzas electromotrices de inducción, infinitamente más elevadas que las del generador; ellas determinan en los bornes del secundario y en el punto de ruptura diferencias de potencial suficientemente grandes para producir las chispas.

La f. e. m. desarrollada en el primario se llama f. e. m. *de autoinducción;* y la desarrollada en el secundario recibe el nombre de f. e. m. *secundaria.* La relación entre estas dos fuerzas electromotrices es aproximadamente igual a la que existe entre el número de espiras primarias y el de espiras secundarias, que recibe el nombre de *relación de transformación.*

Para que una chispa pueda estallar entre dos puntos, es preciso que exista entre ellos una d. d. p. suficientemente grande. El valor de esta d. d. p. depende de la distancia que separa los electrodos, de la forma de éstos y de la naturaleza del medio que los separa. La distancia que separa los electrodos recibe el nombre de *distancia explosiva* y el potencial al cual la chispa se produce se llama *potencial explosivo.*

La chispa no puede saltar, si no es rompiendo de alguna manera la capa o capas de dieléctrico colo-

cado entre los electrodos; por lo tanto, el potencial explosivo debe ser más elevado cuanto mayor sea la rigidez dieléctrica del medio que separa dichos electrodos. Mientras no se haga alguna referencia especial, se supondrá que el medio que separa los electrodos es siempre el aire a la presión atmosférica.

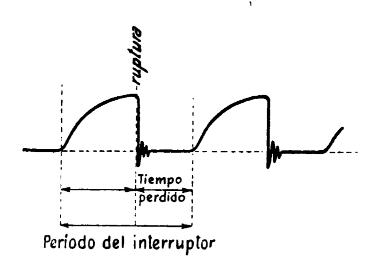


Fig. 7

Cuando el interruptor cierra el circuito, la corriente, en el primario, no toma inmediatamente su valor, sino que aumenta más o menos rápidamente, según la autoinducción y la resistencia del circuito primario (fig. 7). A esta fase del fenómeno se le da el nombre de *establecimiento de la corriente.* La forma de la curva que representa esta corriente, durante esta fase, depende de la relación entre la autoinducción L del circuito primario y su resistencia R; a esta relación se le da el nombre de *constante de tiempo.* Inmediatamente después de establecida la corriente, el interruptor funciona interrumpiendo el circuito primario, el cual queda abierto durante breve espacio de tiempo, llamado *tiempo perdido,* aunque

generalmente se producen fenómenos útiles al principio de esta fase.

El conjunto de tiempo empleado entre el establecimiento de la corriente y el tiempo perdido recibe el nombre de *período del interruptor;* la inversa de este período es la frecuencia del interruptor. En el funcionamiento continuo la frecuencia del interruptor es igual al número de rupturas por segundo.

En el momento en que se produce la ruptura nacen en los dos circuitos oscilaciones eléctricas; estas oscilaciones pueden tener períodos diferentes; nosotros las llamamos *oscilaciones primarias o secundarias,* según se produzcan en uno o en otro de los circuitos. La frecuencia de estas oscilaciones será definida, como siempre, por la inversa de su duración y no por el número de ellas contenidas en un segundo. Finalmente, la descarga del carrete puede manifestarse en formas diversas. La chispa puede ser silenciosa y de color amarillo claro; en este caso tiene aproximadamente la misma duración y la misma frecuencia que la corriente secundaria. Puede suceder también que la chispa no sea silenciosa y que su color sea blanco; existe entonces, por cada oscilación secundaria, gran número de chispas de corta duración; estas chispas son las llamadas *chispas de alta frecuencia.*

La intensidad de corriente en el circuito primario puede ser definida como la intensidad máxima alcanzada en el momento de la ruptura; esta intensidad recibe el nombre de *intensidad inicial.* Un amperímetro de corriente continua intercalado en el circuito primario da la intensidad media; este valor define solamente la corriente absorbida. También podemos hallar el valor de esta corriente sirviéndonos de

amperímetros de corriente alterna; estos aparatos dan la intensidad eficaz, es decir, la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de la intensidad.

A cada cierre del interruptor el primario almacena cierta cantidad de energía, de la cual se encuentra parte en la descarga en el secundario. El almacenamiento de esta energía exige un tiempo más o menos largo, según la potencia del generador de corriente; pero, durante la descarga, esta cantidad de energía puede ser puesta en libertad en un tiempo sumamente corto, produciendo una potencia instantánea de breve duración, pero de valor considerable. Esto es lo que explica el que con una débil cantidad de energía se puedan producir grandes efectos mecánicos, por ejemplo: perforar hojas de cartón, láminas de cristal, etc. Si consideramos el conjunto de descargas que se efectúan en un segundo, tendremos la potencia media, que es inferior a 1 potencia instantánea. Finalmente, la transformación de la energía no se efectúa, sino a costa de ciertas pérdidas. En efecto, las corrientes que circulan por los circuitos los calientan, produciendo pérdidas de energía debidas al efecto Joule. El hierro del núcleo, imantado y desimantado alternativamente, se calienta a causa de su histeresis. Todas estas causas hacen que la energía recuperada sea solamente una fracción de la suministrada por el generador; el rendimiento es la relación que existe entre estas dos cantidades de energía o, si se quiere, la relación entre la potencia media útil y la potencia media absorbida.

La figura 8 representa las curvas de la corriente instantánea en el primario de un carrete de inducción. Las corrientes del circuito eran: Fuerza electromotriz aplicada 4 voltios, resistencia del circuito

1 ohmio, inductancia 0,01 henrios y el valor final de la corriente 4 amperios. Cerrando el circuito en *A* la corriente alcanzaba un valor de 63 por ciento de 4 amp. en el punto *B* al cabo de 0'01 segundos. Abriendo el circuito en este último punto, la corriente pasaba

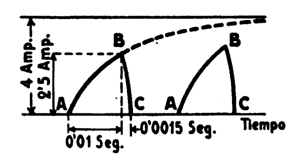


Fig. 8

al valor cero al cabo de 0'0015 segundos. El circuito permanecía abierto hasta el punto *A*, donde volvía a repetirse el ciclo. Si se hubiera dejado cerrado el circuito más de 0'01 segundos, la corriente hubiese seguido aumentando según la línea punteada de la fig. 8.

La resistencia del arco a la ruptura depende de la temperatura y la presión del medio ambiente, la magnitud de la corriente, la autoinducción del circuito y el material de los electrodos. Todos estos factores entran en la determinación del tiempo necesario para reducir a cero el valor de la corriente. Según el profesor Bailey, la fuerza electromotriz media desarrollada en el momento de la ruptura en el carrete mencionado, era de 30 voltios y el rendimiento podría aumentarse hasta 85 por ciento, aumentando la inductancia cuatro veces y permitiendo aumentar la corriente hasta 1'25 amp.

CAPÍTULO II

NÚCLEO MAGNÉTICO

El núcleo magnético de los carretes de inducción se construye formando un haz de alambres de hierro dulce templado, procurando que la calidad del hierro sea la mejor posible. El rendimiento de los carretes de inducción depende en gran manera de la reluctancia, siendo aquél mejor cuanto más baja es ésta; del mismo modo que la conductibilidad de un circuito es más alta cuanto más baja es su resistencia.

El siguiente cuadro da las dimensiones principales del núcleo, su peso aproximado y el número de hilos necesarios en función de la distancia a que debe estallar la chispa:

DIMENSIONES DE LOS NÚCLEOS

Distancia explosiva en cm.	N.º de tubos Calibre B 85	Peso aprox. del núcleo en Kg.	Diámetro del cuello en cm.	Longitud del núcleo en cm.
1'27	20	0'0956	1'270	13'02
2'54	20	0'4102	2'223	18'42
5'08	20	1'2460	3'175	26'67
10'16	22	3'1751	4'762	30'48
15'24	22	5'3580	5'715	35'56
20'32	22	8'4550	6'350	45'72
25'40	22	11'7200	6'985	55'88
30'48	22	17'4840	7'620	66'04

Los pesos indicados en él cuadro anterior son aproximados, debiendo ser aumentados de 125 a 500 gramos a fin de tener en cuenta el desperdicio.

Conociendo el peso aproximado del núcleo, su diámetro y longitud y el diámetro del hilo que debe emplearse en su construcción, podemos deducir fácilmente la cantidad que de este hilo necesitamos. Ad-



Fig. 9

quirido éste se procede a la construcción del núcleo, empezando por cortar el hilo en trozos de igual longitud a la que debe tener el núcleo; se agrupan estos trozos de una manera que formen un núcleo cilíndrico y se introduce dicho cilindro en un tubo de papel de Manila, como se indica en la figura 9.

Antes de agrupar los trozos de alambre es preciso aderezarlos convenientemente. Esto puede hacerse con las manos, o bien, golpeando suavemente los hilos con un trozo de madera dura de superficie lisa; hecho esto con cada uno de los hilos, se termina esta operación colocando los trozos entre dos superficies lisas de madera y haciendo resbalar una sobre la otra ejerciendo cierta presión entre ellas.

El tubo de papel de Manila se construye como indica la figura 10 arrollando el papel sobre un cilindro de madera de diámetro algo superior al del núcleo. La longitud de este tubo suele hacerse ligeramente superior a la del núcleo. Antes de introdu-

cir el núcleo en dicho tubo se sumerge éste en un

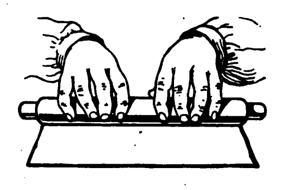


Fig. 10

baño de parafina, dejando luego que se seque completamente.

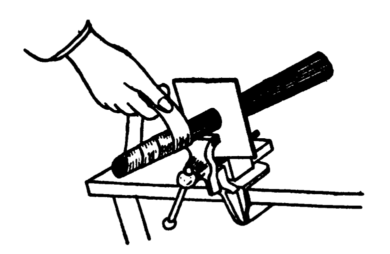


Fig. 11

Si se trata de núcleos pequeños, la envoltura de papel se hace como indica la figura 11, sumergiéndose luego el todo en el baño de parafina.

CAPÍTULO III

EL CIRCUITO PRIMARIO

Para la construcción de los carretes primarios debe emplearse hilo de cobre lo más puro posible. Casi todos los hilos que se encuentran en el comercio son de cobre aleado con otros metales de inferior calidad; de aquí que su conductibilidad resulte altamente perjudicada. Los hilos de cobre puro son muy flexibles, mientras los de cobre aleado con otro metal no lo son tanto, y al mismo tiempo son más frágiles, dependiendo su mayor o menor flexibilidad y fragilidad del tanto por ciento de los metales aleados con él.

El recubrimiento de los hilos de cobre puede hacerse: con seda, y en este caso, el espacio ocupado por dicho aislante es mínimo, o bien, con una o dos capas de algodón; en igualdad de propiedades aislantes, el espacio ocupado por el algodón es mayor que el ocupado por la seda.

La ventaja que tiene el algodón sobre la seda es que a causa de su más bajo precio el hilo resulta más barato.

Para arrollar el hilo primario sobre el núcleo magnético se usa el aparato indicado en la figura 12.

La simple inspección de dicha figura da clara idea

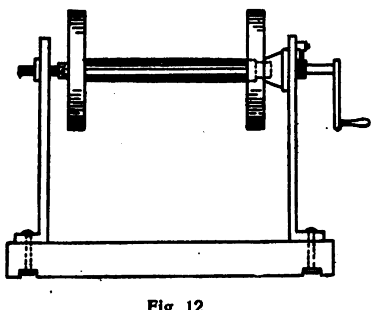


Fig. 12

de su funcionamiento. Los platos extremos son de madera y van provistos de agujeros necesarios para

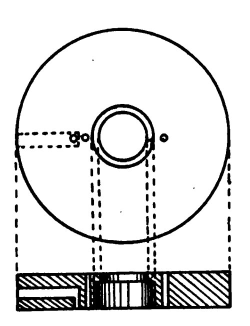


Fig. 13

la introducción del núcleo y del tubo de papel.

La figura 13 representa el plato principal, que

a más del agujero central, contiene otros que sirven para dar salida a los cabos del arrollamiento.



Fig. 14

El conjunto de los platos extremos y del núcleo magnético se ve representado en la figura 14.



Fig. 15

Montado todo el aparato, se empieza a devanar el hilo haciendo girar lentamente el carrete, teniendo cuidado de que las espiras queden muy apretadas y próximas. Al final de cada capa de hilo se le da

otra de barniz aislante, y no se empieza a devanar la capa siguiente hasta que todo esté bien seco.

Terminado el arrollamiento del hilo primario se desmonta el aparato y en los extremos del núcleo



Fig. 16

se colocan unos anillos de madera bien ajustados al núcleo; uno de ellos lleva dos canales (fig. 15) para hacer pasar por ellos los extremos del devanado primario.

Terminada esta operación y dada la última capa de barniz, queda el conjunto del núcleo magnético y del carrete primario tal como se indica en la figura 16.

CAPÍTULO IV

AISLAMIENTO ENTRE CARRETES

En los carretes de pequeñas dimensiones el procedimiento más generalmente empleado para aislar el primario del secundario consiste en poner entre ellos capas de papel de Manila parafinado.

La siguiente tabla indica los diferentes espesores de papel necesarios en función de la distancia explosiva:

Distancia explosiva en cm.	Espesor del aislamiento en cm.
1'27	0'423
2'54	0'317
5'08	0'476

El papel empleado para el aislamiento debe ser lo suficientemente ancho para recubrir completamente todo el carrete primario. La colocación de este papel debe hacerse con mucho cuidado, procurando que quede una superficie perfectamente cilíndrica y lo más lisa posible, a fin de que el circuito secundario pueda devanarse directamente sobre él.

Para carretes de mayores dimensiones se emplea un aislamiento diferente. Un tubo de vulcanita de

espesor suficiente suministra un aislamiento inmejorable entre los dos circuitos. Las dimensiones aproximadas de dicho tubo están dadas en el siguiente cuadro en función de la distancia explosiva:

DIMENSIONES DE LOS TUBOS DE VULCANITA

Distancia explosiva en cm.	Longitud del tubo en cm.	Diámetro interior del tubo en cm.	Espesor del tubo en cm.	Diámetro exterior del tubo en cm.
10'16	32'75	6'35	0'318	6'98
15'24	37'78	7'30	0'476	8'25
20'32	47'31	8'25	0'635	9'52
25'40	58'10	9'21	0'794	10'79
30'48	69'22	10'48	0'953	12'38

Además del tubo de vulcanita, es necesario dispo-

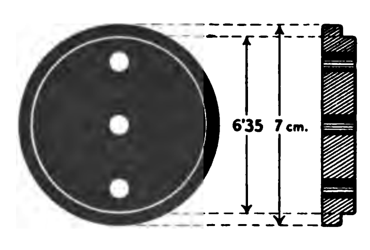


Fig. 17

ner un par de tapas para sus extremos. Estas pueden ser de la misma madera empleada para la base del

instrumento, al contrario del tubo aislador, que debe ser forzosamente de vulcanita, para que su superficie sea lo más lisa posible. Esas tapas están provistas de un agujero central que permite el paso de la barra de hierro del núcleo al exterior, y de dos agujeros dispues-

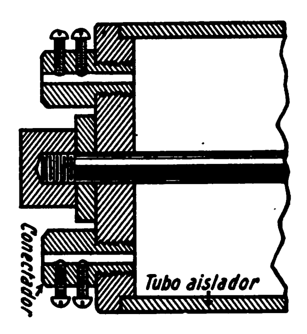


Fig. 18

tos opuestamente para dejar paso a los terminales del circuito primario. En estos agujeros van atornillados conectadores de latón para fijar y asegurar los extremos del primario. La figura 17 da una idea clara de dichas tapas.

En la figura 18 puede verse una sección transversal del extremo del inductor provisto de los conectadores.

Las dimensiones de las tapas se encuentran en la siguiente tabla:

DIMENSIONES DE LAS TAPAS EXTREMAS

Distancia explosiva en cm.	Diámetro superficie exterior en cm.	Diámetro superficie interior en cm.	Espesor de la tapa en cm.	Diámetro agujero central en cm.	Diámetro agujeros conectadores en cm.	Distancia entre centros, agujero central y conectadores en cm.
10	7,00	6,30	0,95	0,63	0,63	2,22
15	8,25	7,30	0,95	0,63	0,63	2,54
20	9'50	8,25	1'10	0,80	0,63	3,18
25	12,00	9,20	1,27	0,95	0,95	3,18
30	12,40	10,50	1,60	0,95	0,92	3,80

Los conectadores de latón tienen por objeto unir los terminales del circuito primario a las demás partes del

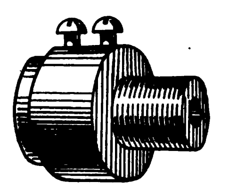


Fig. 19

instrumento, sin salir al exterior. La forma de estos conectadores se muestra en la figura 19: sus dimensiones en función de la distancia explosiva se encuentran en el cuadro siguiente:

DIMENSIONES DE LOS CONECTADORES DE LATÓN

Distancia explosiva en cm.	Longitud del conectador en cm.	Diámetro del conectador en cm.	Longitud del tornillo en cm.	Diámetro del agujero axil en cm.	Diámetro de los tornillos en cm.	Distancia de agujeros de tornillos a los bordes en cm.
10	1,27	1,27	0,95	0,183	0,24	0,24
15	1,27	1,27	0,95	0,183	0,24	0,40
20	1,27	1,27	1,10	0,205	0,24	0,40
25	1,60	1,60	1,27	0,205	0,32	0,48
30	1,60	1.60	1,60	0,260	0,32	0,48

Después que el inductor, formado por el núcleo y el circuito primario, ha sido colocado dentro del tubo de vulcanita y las tapas han sido ajustadas en su

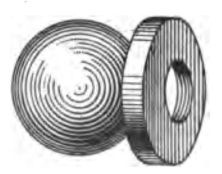


Fig. 20.

posición, se montan en ambos extremos de la barra de hierro del núcleo dos discos de latón bien pulimentados, de las dimensiones indicadas en la tabla siguiente:

DIMENSIONES DE LOS DISCOS DE LATÓN

Distancia explosiva en cm.	Diámetro del disco en cm.	Espesor del disco en cm.	Diámetro del agujero en cm.
10	2,54	0,48	0,63
15	2,54	0,48	0,63
20	3,18	0,63	0,79
25	3,80	0,63	0,95
30	5,05	0,95	0,95

Para carretes hasta 20 centímetros de distancia explosiva se atornilla al disco una pieza esférica, tam-

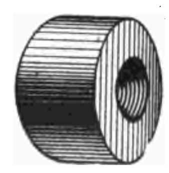


Fig. 21

bién de latón, como se indica en la figura 20. Para carretes de más de 20 centímetros dichas piezas tienen la forma indicada en la figura 21.

CAPÍTULO V

CIRCUITO SECUNDARIO

Cuanto se ha dicho relativo a la pureza del hilo de cobre del circuito primario puede aplicarse al secundario. Los hilos aislados con seda ocupan menos espacio y de aquí que el campo magnético sea más intenso; pero los hilos recubiertos de algodón forman un conjunto más resistente mecánicamente, aunque el diámetro exterior esté considerablemente aumentado.

Difícil es precisar la cantidad de hilo necesaria para producir una longitud de chispa deseada, puesto que ello depende de factores muy diversos. De todas maneras, la siguiente tabla dará una idea de las dimensiones y cantidad de hilo necesario para carretes pequeños.

DIMENSIONES Y CANTIDAD DE HILO PARA CARRETES SECUNDARIOS PEQUEÑOS

Distancia explosiva en cm.	Dimensiones del hilo Calibre B. J. S.	Peso de hilo en Kgs.		Número de hilos sin aislar por cm.
		Sin aislar	Capa algodón	
1'27	40	0'225	0'340	12
2'54	40	0'340	0'565	9
5'08	38	0'800	1'360	6

En casi todos los casos el hilo del secundario de los carretes pequeños está sin aislar y entonces el aislamiento se consigue dejando un pequeño espacio entre las espiras consecutivas.

El hilo sin aislar es generalmente mucho más barato que aislado con una o dos capas de algodón, y si se dispone de un torno todos los carretes hasta 5 centímetros pueden construirse fácilmente. La velocidad del torno depende del número de hilos por centímetro que se encuentran en la última columna de la tabla; una pieza en la herramienta que transporta el hilo y lo guía al pasar del carrete en que está arrollado al carrete del torno.

No es necesario dividir los devanados pequeños en secciones, porque las capas sucesivas se separan mediante papel ordinario.

Un carrete de mejor calidad puede construirse usando hilo aislado con una capa de algodón de las dimensiones indicadas en la tabla para la longitud de chispa deseada, usando entre capas en lugar de papel ordinario papel de buena calidad sumergido previamente en parafina disuelta.

Si no se dispone de un torno puede usarse el aparato empleado para la construcción de circuitos primarios; pero el proceso es más lento, puesto que debe guiarse el hilo con la mano.

Es conveniente disponer todos estos carretes divididos en secciones.

Para los secundarios de los transmisores de telegrafía y otros casos en que se requiere gran corriente se usa el mismo número de espiras que para carretes ordinarios, para una longitud de chispa. Si es posible, conviene aumentar el diámetro del disco seccionador o aumentar la longitud del núcleo y el circuito pri-

DIMENSIONES Y CANTIDAD DE HILO PARA CARRETES SECUNDARIOS GRANDES Y MEDIANOS

Distancia explosiva en cm.	N.° de hilos aislados con una capa de algodón	Kgs. de hilo para carretes ordinarios	N.° de hilos para carretes de telégrafo	Kgs. de hilo para carretes de telégrafo
10	36	2'720	32	7'250
15	36	4'100	32	10'900
20	36	5'450	32	12'700
25	34	6'800	30	19'000
30	34	8'150	30	20'000

mario, o bien ambas cosas, lo cual dará los mejores resultados.

Aunque puede usarse un torno para construir estos carretes, una máquina sencilla especial da excelentes resultados y puede construirse económicamente. Esta máquina, cuya sección transversal puede verse en la figura 22, consiste en una base de fundición o madera a la cual vienen sujetos dos brazos perforados y roscados previamente para recibir los tornillos centrales de hierro o acero, que deben atornillarse con facilidad para poder ajustarlos frecuentemente.

Un eje con los extremos convenientemente dispuestos gira entre los tornillos centros. Sobre este eje van montados dos discos de latón de diámetro un poco mayor que la sección que se ha de devanar y separados por un tercer disco pequeño de espesor igual a la sección que debe devanarse y de un diámetro 12 milímetros mayor que el diámetro del tubo aislador del

primario. Una poleíta situada a un lado puede moverse a mano o mediante un motorcito eléctrico.

La figura 23 indica la manera de operar. El depósito que contiene el compuesto aislante está conside-

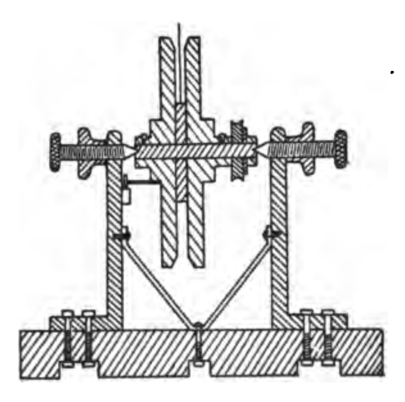


Fig. 22

rablemente más bajo que el centro del carrete de la máquina de devanar y que el carrete del hilo. Esta disposición permite al hilo del carrete pasar directamente al interior de la cera o compuesto aislador sin tocar parte alguna del recipiente.

Así se consigue que el hilo del secundario posea una ligera capa aisladora de cera o de otra substancia especial. Como aislantes de los carretes secundarios se usan: la parafina, que posee elevada rigidez dieléctrica si no está sometida a altas temperaturas; pero

absorbe humedad y esto baja considerablemente sus propiedades aisladoras cuando ha de soportar elevadas tensiones.

El mejor aislante para los secundarios de carretes de inducción se forma con partes iguales de resina y

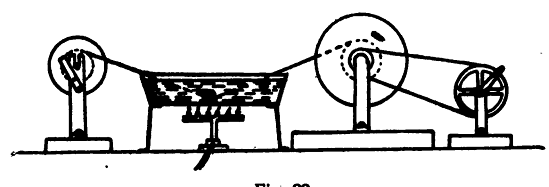


Fig. 23

cera de abejas; pero como esta última es cara, se pone — sin modificar mucho las propiedades dieléctricas — una parte de ella y tres de resina. Este compuesto no sufre variaciones con el aumento de temperatura, no absorbe humedad, y su punto de fusión es más elevado que el de la parafina. Sean cuales fueren los materiales usados, debe comprobarse su pureza antes de preparar el compuesto.

La operación siguiente es cortar un número de discos de papel con el mismo diámetro exterior que el secundario que debe ser devanado y con una abertura central ligeramente mayor que el diámetro exterior del tubo aislador entre los circuitos primario y secundario. Estos papeles se colocan entre los discos seccionadores para aislarlos entre sí. El diámetro aproximado de los discos, así como el de los papeles intermedios y los espacios existentes entre ellos, pueden hallarse en las siguientes tablas:

NÚMERO Y DIÁMETROS DE LOS DISCOS SECCIONADORES SECUNDARIOS

Distancia explosiva del carrete en cm.	Anchura del disco en cm.	Diámetro interior del disco en cm.	Diámetro exterior del disco en cm.		Número de discos
			Ordinario	Para carretes de telegrafía	
10	0'475	7'30	14'30	17'10	30
15	0'475	8'60	15'80	19'10	37
20	0'318	9'80	17'40	20'10	64
25	0'318	11'10	18'10	21'40	80
30	0'318	12'70	19'40	22'00	90

NÚMERO Y DIÁMETROS DE LOS DISCOS DE PAPEL

Distancia explosiva en cm.	Diámetro interior en cm.	Diámetro exterior en cm.	Papeles entre dos discos	Número total de papeles
10	7'30	14'30	6	186
15	8'60	15'80	6	228
20	9'80	12'40	6	390
25	11'10	18'10	6	486
30	12'70	19'40	6	570

Antes de emplear los discos de papel deben secarse completamente en un horno, y entonces sumergirlos en un baño de parafina fundida o del compuesto que se use hasta que estén enteramente saturados.

Cuanto mayor sea el número de discos de papel entre discos seccionadores, menor será el peligro de ruptura debido a los defectos inherentes del papel. Lo más conveniente es probar los discos de papel por el siguiente método: Una de las piezas circulares de latón de la devanadera se coloca sobre un cristal y se conecta a uno de los terminales del secundario de un carrete pequeño de inducción que pueda dar una chispa de 12 milímetros. El otro borne del carrete secundario se conecta a un aparato formado de un vidrio redondo; uno de sus extremos se inserta en un corcho que sostiene a su vez un rectángulo de hilo de cobre. Sobre la placa de latón se coloca el papel que se quiere ensayar y entonces se recorre la superficie de éste con el rectángulo de hilo de cobre. Si existen defectos en el papel, una chispa debida a la diferencia de potencial perforará la superficie.

Los empalmes del hilo deben hacerse con todo cuidado y de manera que la unión sea lo más lisa posible; esto se consigue descubriendo el aislamiento de algodón de los extremos de los hilos unos 12 ó 15 milímetros y uniéndolos como se ve en la figura 24. De todas maneras, aunque la unión esté correctamente hecha, es conveniente soldarla luego; la soldadura no debe hacerse con ácido, sino con resina y aplicando el soldador con el intermedio de una piececita de cobre o calentando la unión en una llama de alcohol, pues debe procurarse no perjudicar el aislamiento. La unión debe ser luego aislada, recubriéndola con hilo o bien arrollándole una delgada cinta de seda de 3 milímetros de anchura, y después sumergiéndola en el compuesto aislante hasta que esté completamente saturada.

Hecho el devanado de un disco, se le deja permane-

cer entre las placas de latón de la devanadera hasta que el aislamiento se haya enfriado. Entonces puede extraerse fácilmente sacando un tornillo centro que permite extraer el eje sobre el que va montado el dis-



Fig. 24

co. Teniendo ya devanada una sección, se repite el proceso; mas para la siguiente sección, en lugar de girar el eje a la derecha se hace girar hacia la izquierda; el mismo efecto puede conseguirse arrollando el hilo

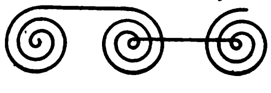


Fig. 25

en un mismo sentido e invirtiendo cada uno alternativamente. Así se consigue un primer disco con un hélice arrollado hacia la derecha (*dextrorsum*) y el segundo con un hélice hacia la izquierda (*sinistrorsum*), como se ve en la figura 25; el tercer disco está arrollado a mano derecha, y así sucesivamente. Esto tiene por objeto que puedan ser conectados entre sí los dos terminales interiores de dos secciones consecutivas y también los dos terminales exteriores. De esta manera se evitan los inconvenientes de los méto-

dos antiguamente empleados, donde el terminal exterior se unía al terminal interior de la sección consecutiva, lo cual facilitaba los cortos circuitos y el paso de la chispa entre las secciones vecinas.

Después deben conectarse, soldarlos y aislarlos los terminales interiores. Los hilos que conectan las di-

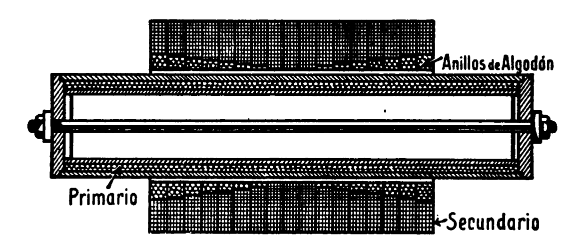


Fig. 26

versas secciones adyacentes no deben estar situados en un plano paralelo al eje del inductor, sino que deben tener una longitud de 5 a 15 cm. para que puedan arrollarse helicoidalmente alrededor de él. Para que no haya confusión en la dirección de los arrollamientos, cada par de secciones, que está constituído por un *dextrorsum* y otro *sinistrorsum* debe conectarse tal como haya de quedar devanado.

Es práctico, aunque no necesario, aumentar el diámetro interior de los discos situados hacia los extremos del núcleo. Esto tiene por objeto, además de transportar mayor número de espiras al centro del carrete, donde el campo magnético es más intenso, que en el centro el voltaje es prácticamente cero, mientras en los extremos alcanza un valor máximo;

así y todo varias espiras de hilo son nulas si quiere prevenirse la posibilidad de la chispa entre los extremos del circuito secundario y el inductor.

Para un carrete de 30 cm. el espacio entre primario y secundario varía de 6 milímetros en el centro a 12 mm. en los extremos, como se ve en la sección transversal de la figura 26; este espacio se llena de hilo de algodón, arrollado alrededor del primario, después de haberlo impregnado de parafina u otro compuesto, como en el caso del hilo de cobre. Los diámetros de los anillos formados por los hilos de algodón pueden encontrarse añadiendo al diámetro del núcleo de latón la anchura indicada en la siguiente tabla:

NÚMERO, LONGITUD Y GRUESO DE LOS ANILLOS AISLADORES

Carretes de 10 cm.		Carretes de 15 cm.		Carretes de 20 cm.	
Grueso de los anillos 0'5 cm.		Grueso de los anillos 0'5 cm.		Grueso de los anillos 0'3 cm.	
Número de anillos	Longitud radial de los anillos en cm.	Número de anillos	Longitud radial de los anillos en cm.	Número de anillos	Longitud radial de los anillos en cm.
6	0'635	8	0'635	10	0'950
6	0'475	8	0'475	10	0'795
6	0'318	8	0'318	10	0'635
6	0'159	8	0'159	10	0'475
::	::	::	::	10	0'318
::	::	::	::	10	0'159
Número total de anillos . . .	24	Número total de anillos . . .	32	Número total de anillos . . .	60
Número de secciones de mínima apertura	6	Número de secciones de mínima apertura	5	Número de secciones de mínima apertura	4
Número total de secciones . .	30	Número total de secciones . .	37	Número total de secciones . .	64

Carretes de 25 cm. grueso de los anillos 0,3 cm.		Carretes de 30 cm. Grueso de los anillos	
Número de anillos	Longitud radial de los anillos en cm.	Número de anillos	Longitud radial de los anillos en cm.
12	0'950	10	1'270
12	0'795	10	1'110
12	0'635	10	0'950
12	0'475	10	0'795
12	0'318	10	0'635
12	0'159	10	0'475
—	—	10	0'318
—	—	10	0'159
Número total de anillos . .	72	Número total de anillos . .	80
Número de secciones de mínima apertura	8	Número de secciones de mínima apertura	14
Número total de secciones .	80	Número total de secciones .	94

De este número total de secciones se colocan la mitad a un lado y la otra mitad al otro lado del carrete secundario.

Cuando las secciones estén concluídas debe procederse a ensayar si el hilo ofrece continuidad, así como si el aislamiento es suficiente. Al mismo tiempo debe comprobarse la resistencia del carrete. La continuidad del hilo puede hallarse conectando un terminal de la sección a una pila seca y un galvanómetro, y si no se dispone de este último, tocando los terminales con la lengua. Los defectos de construcción pueden hallarse deslizando cada par de secciones sobre el inductor y ensayándolas entonces con el interruptor, condensador y generador de corriente de que se disponga.

Primeramente se construyen buen número de sec-

ciones, por ejemplo, las tres cuartas partes, y el resto no se construye hasta que la experiencia determina el número exacto de secciones necesarias.

En primera aproximación se necesitan de 20 a 25 secciones para carretes de 10 y 15 cm; de 40 a 50 para los de 20 y 25 cm., y de 60 a 70 para los de 30 cm., las cuales se hacen deslizar sobre el inductor. Se van aproximando los bornes del secundario hasta que pasa la chispa entre ellos. Así se consigue no solamente encontrar el número de secciones necesarias, sino aun mejorar el rendimiento del carrete, puesto que las espiras excesivas aumentan la resistencia y disminuyen la corriente sin aumentar la distancia explosiva.

Para la construcción de los carretes secundarios se procede de esta manera: Devanadas y comprobadas las diversas secciones que componen el secundario se procede al montaje de éste, poniendo entre secciones discos aislados de papel, montando el conjunto sobre el tubo aislador que envuelve el circuito primario después de haber sacado éste y su núcleo. Para conseguir que el carrete secundario quede fijo en el tubo se arrollará alrededor de éste un hilo ordinario con mucho cuidado, pues de esto depende en gran manera que los hilos del secundario queden bien colocados.

El tubo se instala en un soporte, en posición vertical, y su parte inferior entra cómodamente en la apertura de éste; se van colocando las secciones de hilo teniendo cuidado de poner en medio discos de papel.

Entonces se sueldan los terminales y se aislan las uniones, pero dejando sueltos los extremos del circuito secundario.

En la parte superior del soporte se coloca una pieza de madera plana con un agujero central, por el que pasa el tubo aislador, y cuatro brazos de madera empalmados. Se pone también alrededor del se-

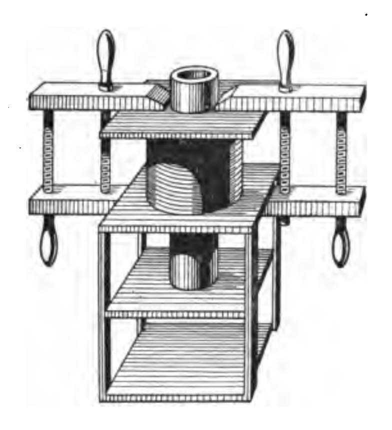


Fig. 27

cundario un cilindro de estaño, cuyo diámetro es de 1 a 2 cm. mayor y su longitud un poco menor que la del carrete secundario.

El espacio comprendido entre la superficie interior del carrete secundario y el tubo y la superficie exterior de aquél y el cilindro de estaño se llena del material aislante fundido. Cuando el líquido que llega a la superficie indica que todos los espacios están llenos, se van ajustando los tornillos de madera para equilibrar la presión en los extremos del carrete, como puede verse en la figura 27. Cuando la parafina o

compuesto especial se ha solidificado, pueden quitarse los tornillos y el cilindro. Entonces se tiene un con-

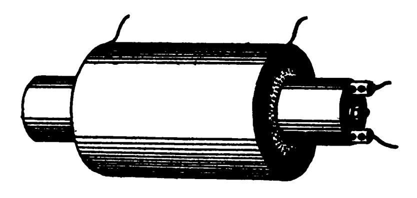


Fig. 28

junto rígido formado por la masa dura y compacta del material aislante que une el tubo aislador con el carrete secundario.

La figura 28 muestra el carrete secundario concluído y montado sobre el tubo aislador, dentro del cual está el circuito inductor.

CAPÍTULO VI

APARATOS PARA IMPREGNAR Y SECAR EN EL VACÍO

Mientras los carretes no estén sujetos a sobrecargas y sean cuidadosamente manejados, pueden usarse los sistemas citados en el anterior capítulo con buenos resultados. Pero si se trata de construir carretes en serie para la competencia en el mercado, entonces debe cuidarse mucho el aislamiento y para ello se emplean nuevos métodos.

Un sistema usado por algunos fabricantes consiste en el empleo de un aparato para secar en el vacío y mediante vapor caliente. Se compone de un elevado depósito de plancha de hierro o de fundición, con una cubierta que puede quitarse, formando una cámara de aire. En el interior de la cámara hay un tubo en espiral en comunicación con una caldera de vapor. En la parte superior del recipiente se coloca un tubo, que, conectado a una bomba de aire, permite hacer el vacío. Para saber en cada momento la temperatura y el grado de vacío, la cámara debe estar provista de un termómetro y un manómetro. El carrete secundario se ajusta y comprime por un núcleo de hierro o latón que tiene cuatro o seis brazos graduables.

Para operar se coloca el carrete en la cámara de vacío, al mismo tiempo que se hace circular el vapor por el tubo en espiral. Esta operación dura, según los casos, de dos a seis horas. Se abre luego la cámara echando el compuesto aislante en el recipiente y vuelve a hacerse el vacío; cuando éste ha alcanzado un

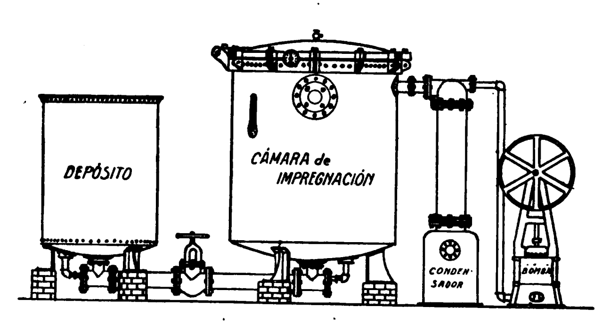


Fig. 29

grado suficiente, se hace circular nuevamente el vapor hasta conseguir que el conjunto adquiera gran fluidez. Pasada una hora se deja enfriar y se extrae el carrete recubierto de una masa dura de aislamiento.

En los modernos métodos, para impregnar y secar en el vacío, el compuesto aislador puede entrar en la cámara sin que el aire pierda el estado de enrarecimiento en que se encontraba anteriormente. Así se evita toda posibilidad de que los carretes secos puedan volver a absorber humedad o aire.

El compuesto aislante está en estado fundido en un depósito abierto, en comunicación, mediante un tubo

provisto de una válvula, con la cámara de aire enrarecido; la cámara comunica con un condensador que liquida la humedad y con una bomba de aire, como puede verse en la figura 29.

Se coloca el carrete sobre un núcleo compresor, como ya se ha indicado anteriormente, y cuando esté completamente seco se abre la válvula que da paso al compuesto fundido del recipiente a la cámara de impregnación para cubrir el carrete. Entonces se hace funcionar la bomba de aire como bomba de condensación, y el aire de la cámara se comprime hasta 4 ó 5 atmósferas — 4 a 5 kg. por centímetro cuadrado — obligando al compuesto a retroceder hasta su depósito y a penetrar al mismo tiempo en los poros del carrete.

Este sistema evita el inconveniente de los antiguos procedimientos de desecación en aire caliente, que siempre transportaba una parte de humedad.

CAPÍTULO VII

CONSTRUCCIÓN DE INTERRUPTORES

El interruptor de los carretes de inducción es una parte esencial del aparato. De él depende considerablemente la longitud de chispa obtenida.

Existen varios tipos de interruptores en la práctica; pero nos limitaremos a hablar de los principales.

Un buen interruptor debe reunir las siguientes condiciones:

1.ª Establecer buen contacto de manera que la resistencia eléctrica sea pequeña.

2.ª La ruptura del circuito debe ser rápida y total, evitando la chispa, perjudicial para los contactos.

3.ª La frecuencia de la ruptura y establecimiento de la corriente debe poder graduarse entre amplios límites.

4.ª El tiempo perdido entre la ruptura y el nuevo establecimiento de la corriente, así como entre éste y la ruptura, debe ser lo menor posible.

Uno de los interruptores más usados consiste en un elemento vibratorio de muelle, uno de cuyos extremos es rígido, mientras el otro es libre y conduce una armadura, sobre la que obra el núcleo del ca-

rrete; este sistema es sencillo en su construcción y funcionamiento, y fácil de regular.

Se usan tres tipos diferentes de interruptores vibratorios: 1.°, los que tienen un simple vibrador y una sola ruptura; 2.°, los que tienen dos vibradores y una sola ruptura, y 3.°, los que tienen dos vibradores y dos rupturas. Los interruptores de los tipos primero y segundo se colocan en serie con el devanado primario y sobre ellos obra uno de los polos del núcleo; en los interruptores del tercer tipo, los contactos principales están en serie con el inductor y la ruptura se opera mediante un imán colocado en un circuito en paralela.

El interruptor de vibrador simple puede usarse en carretes de 20 cm. de chispa. El de dos vibraciones y una ruptura más rápida puede usarse con ventaja en carretes de dimensiones inmediatamente superiores. Finalmente, el de dos vibradores y dos rupturas, que es independiente del valor de la corriente que pasa a través del circuito magnético, es el más eficaz de todos y debe usarse en carretes de 25 a 30 cm.

En el interruptor de vibrador simple pueden distinguirse cinco partes principales: la pieza que soporta el vibrador, cuyo contacto es de platino, la armadura transportada por el extremo del vibrador, la pieza que aguanta el tornillo ajustable, y éste con su punta de contacto de platino.

El interruptor de dos vibradores y ruptura sencilla, para carretes de 10, 15 y 20 cm., puede verse en la figura 30.

Debido a que en el interruptor independiente la acción del núcleo no depende de la corriente, se adopta generalmente para carretes grandes y, aun por muchos fabricantes, para los intermedios. A diferencia de

los otros dos tipos anteriores, el interruptor independiente puede usarse en carretes de cualquier dimensión, sin modificar ninguna de sus partes.

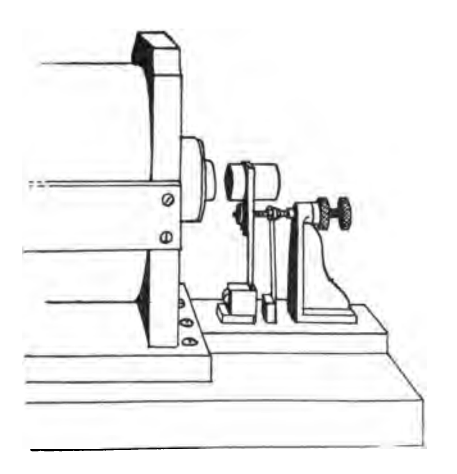


Fig. 30

Interruptor de martillo, de Neef.

Este interruptor es un tipo clásico, de uso corriente para carretes de pequeñas dimensiones. Consiste en un resorte R fijo a una pieza metálica C por uno de sus extremos; en el otro extremo de dicho resorte hay una pequeña masa de hierro dulce M, dispuesta para ser atraída por el núcleo del carrete de inducción,

en frente del cual se halla situada. Existe un tornillo de regulación, provisto de una punta de platino para que no pueda oxidarse, que se apoya sobre un saliente P igualmente de platino, dispuesto sobre el

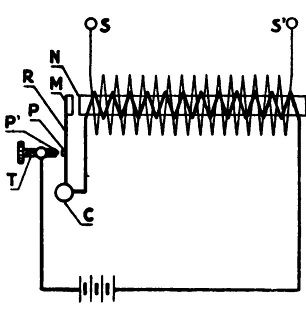


Fig. 31

resorte. El objeto de este tornillo es producir la unión de la masa M con el núcleo del carrete. En la figura 31 se muestra la disposición de las conexiones; cuando una corriente pasa a través del circuito primario, el núcleo N se magnetiza y atrae hacia él la masa M, rompiéndose entonces el contacto entre los puntos P y P'. Interrumpido el circuito, el núcleo se desmagnetiza, la masa M retrocede a su primitiva posición por la acción de la lámina resorte, y el contacto entre P y P' se restablece. Nuevamente la corriente circula por el circuito, y los mismos efectos se reproducen de una manera continua.

Debido a la autoinducción del circuito en el momento de la ruptura, se produce entre los puntos P y P' una chispita, perjudicial, puesto que deteriora

los contactos y se opone a una ruptura instantánea. Para evitar este grave inconveniente los carretes de Runhmkorff suelen ir provistos de un condensador que absorbe la extracorriente de ruptura en el momento de su formación.

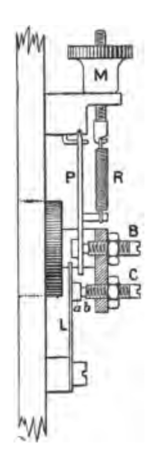


Fig. 32

Para obtener gran velocidad de separación puede emplearse el interruptor Carpentier o interruptor atónico (fig. 32).

La corriente que alimenta el circuito primario del carrete pasa por el borne C y el resorte L. La lámina de latón P lleva una masa pequeña de hierro que es atraída por el núcleo del carrete. La distancia entre hierro y núcleo puede regularse mediante un torni-

llo B. La ruptura se produce por el choque brusco de la lámina P con el resorte L.

Finalmente pueden considerarse los interruptores electrolíticos, que, aunque no muy extendidos todavía, tienen ventajas sobre los anteriores por su sencillez y buen funcionamiento. Generalmente se compone de un vaso metálico conteniendo una disolución de agua y ácido sulfúrico, en la cual se sumerge un tubo de vidrio o porcelana, terminado por un alambre de platino muy corto, y una lámina de plomo.

Cuando una corriente atraviesa el aparato, el hilo de platino se pone incandescente y se encuentra rodeado de vapores, no conductores, del agua acidulada; la corriente se interrumpe, el hilo de platino se va enfriando y vuelve a establecer contacto con el líquido. Con este interruptor se puede llegar a obtener hasta 1.500 interrupciones por segundo.

Entre los más empleados de este tipo citaremos el interruptor electrolítico de Wehnelt. Está constituído por un recipiente de latón, recubierto de plomo y con una envoltura de fieltro. La cubierta está provista de cuatro agujeros que dejan paso al electrodo movible, al electrodo fijo, a un termómetro y a los gases desprendidos.

En la figura 33 puede verse el detalle de este interruptor electrolítico, así como el electrodo movible, que comprende una varilla de plomo prolongada en su extremo inferior por un hilo de platino y provista en el otro extremo de un tope esgrafiado. La parte sumergida de la varilla está cubierta por un tubo de vidrio provisto de un agujerito para dejar paso al hilo de platino. La regulación de la longitud de platino en contacto con el líquido se obtiene por el movimiento de la varilla.

Funcionando a 12 ó 15 voltios, este aparato puede marchar regularmente a una temperatura de 90 a 100° durante varias horas.

El inconveniente de este sistema estriba en que la zona más caliente del líquido es la que está cerca de

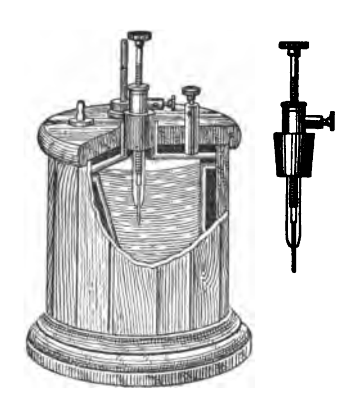


Fig. 33

la punta de platino y hacia la parte superior del vaso, mientras el líquido, en contacto con las paredes y en la parte inferior del recipiente, está frío.

Este inconveniente se ha eliminado estableciendo una enérgica circulación del agua, como se indica en la figura 34.

El recipiente metálico se ha reemplazado por un vaso de vidrio, que contiene un tubo de plomo que actúa de negativo sumergido en el líquido hasta algunos milímetros del fondo del vaso. En el interior

del tubo está alojado el electrodo movible. La parte del tubo de plomo cercana al nivel del líquido tiene cierto número de agujeros. Cuando el interruptor funciona, el líquido que baña el hilo de platino se ca-

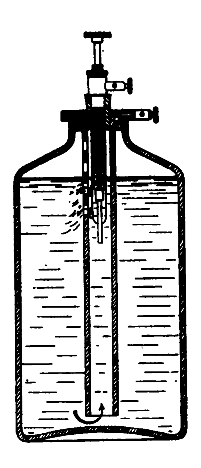


Fig. 34

lienta y ascendiendo por el tubo se escapa por los agujeros laterales. Al mismo tiempo líquido frío entra en el tubo por su parte inferior, creando así una circulación general que interesa toda la masa líquida.

Un interruptor de circulación con una capacidad de 4 a 5 litros puede asegurar una marcha regular de una hora con una corriente de 12 a 15 amperios a 120 voltios.

CAPÍTULO VIII

TERMINALES

Algunos carretes de inducción carecen de terminales estalladores, siendo suficientes los soportes para formar el espacio estallador. Pero esto tiene varios inconvenientes y sólo puede usarse para los tubos de

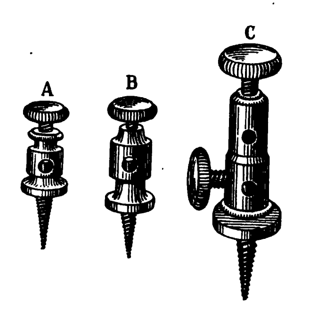


Fig. 35

Geissler: en cambio, para descargas disruptivas es más eficaz que la chispa tenga lugar entre esferas.

En los carretes pequeños una pieza atornillada en la superficie del soporte aguanta los terminales de descarga. Para los carretes de 1,2 cm. pueden usarse so-

portes de las dimensiones indicadas en A, fig. 35; para los de 2,5 cm., los indicados en B; para los de 5 cm., se usa un soporte doble, como se indica en C.

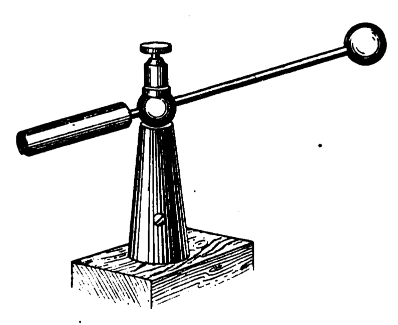


Fig. 36

En la figura 36 puede verse un terminal estallador, en conjunto.

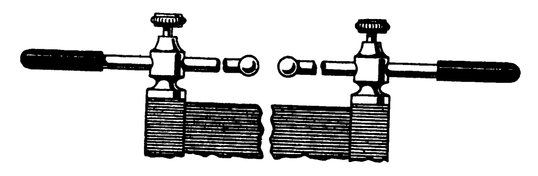


Fig. 37

En todos los casos la barra de latón debe tener una longitud dada y los extremos destinados a formar la chispa deben ser muy agudos. En dichos extremos

van situadas generalmente esferas que tienen un agujero donde penetra el extremo de la barra.

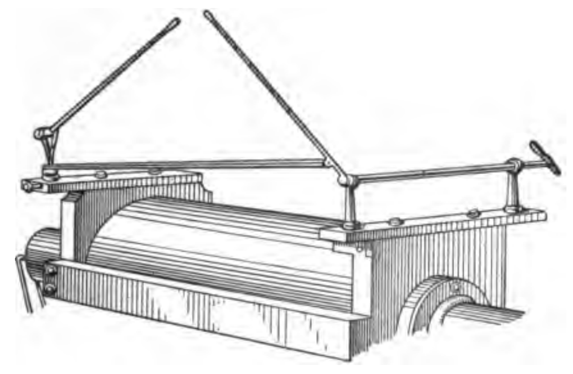


Fig. 38

Las esferas pueden ser de un metal cualquiera, pero se acostumbra a emplear el cinc, que da excelentes resultados. El cuadro que viene a continuación da idea de las dimensiones de las barras y de los diámetros de las esferas.

DIMENSIONES
DEL ESTALLADOR PARA PEQUEÑOS CARRETES

Distancia explosiva en cm.	Longitud de la barra en cm.	Diámetro de la barra en cm.	Diámetro de las esferas en cm.	Manguito de vulcanita	
				Longitud	Diámetro
1,25	7,5	0,475	0,96		
2,54	10,00	0,638	1,27		
5,00	15,00	0.638	1,90	2,50	0,90

En los carretes de 5 cm. suelen ponerse en los extremos de las barras opuestos a las esferas, manguitos de vulcanita, para atraer o separar éstas.

Los terminales de un oscilador de un carrete de pequeñas dimensiones se muestran en la figura 36.

Para carretes de dimensiones medianas se emplean terminales como el de la figura 37. La figura 38 da una idea clara de los terminales que se usan para los carretes de grandes dimensiones (distancias explosivas de 25 y 30 centímetros).

CAPÍTULO IX

CONEXIONES

En carretes pequeños, los contactos de las conexiones pueden hacerse arrollando los extremos de los hilos alrededor de los tornillos; pero en medianos y

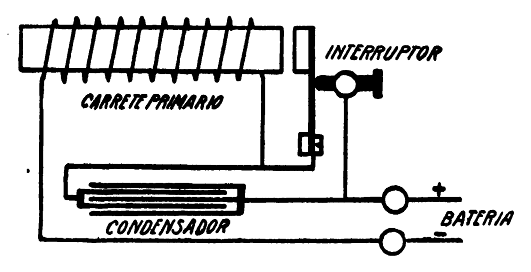


Fig. 39

grandes conviene soldar los extremos a los tornillos y si es preciso, desmontar el carrete frecuentemente; lo mejor es soldar unos terminales a los hilos. Los hilos empleados para las conexiones deben tener iguales o

mayores dimensiones que los empleados para el devanado primario, debiendo estar provistos de dos capas de algodón. Los cruces de los hilos deben ase-

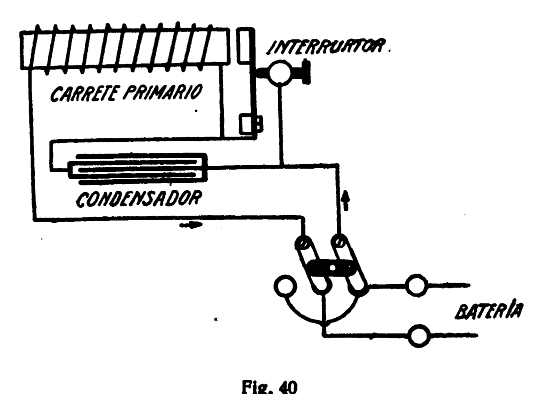


Fig. 40

gurarse cubriendo éstos con tubos de goma flexible, o con cinta adherente.

Los diagramas adjuntos indican las diversas conexiones para las diferentes dimensiones y tipos de carrete. Para mayor claridad de los esquemas, en ellos se indica únicamente el circuito primario, y el secundario se supone formado de una sola capa de hilo.

Los carretes pequeños no llevan interruptor reversible y el esquema se indica en la figura 39.

En la figura 40 puede verse el carrete conectado a tres puntos del interruptor reversible.

Cuando se usa un interruptor de cuatro puntos las conexiones van como se indica en la figura 41.

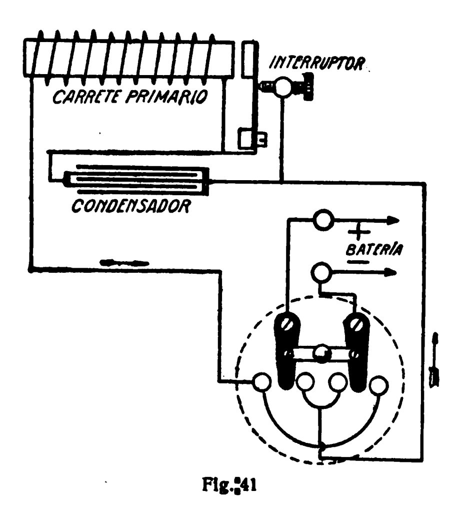


Fig. 41

Para ampliar los conocimientos en la materia estudiada en esta segunda parte, son recomendables las siguientes obras.

CAPÍTULO X

EMPLEO DE LOS CARRETES DE INDUCCIÓN

Los carretes de inducción, después de haber sido durante largo tiempo aparatos exclusivamente de laboratorio, fueron empleados más tarde en la práctica cuando se utilizaron para producir la inflamación de los gases en los motores de explosión, de gas o de petróleo.

Más tarde, con el descubrimiento de los rayos X, así como con la aparición de la telegrafía sin hilos, han alcanzado un desarrollo considerable.

En el primer caso, es decir, para producir la inflamación de los gases en los motores de explosión, la chispa producida por el carrete de inducción debe alcanzar una longitud de 5 a 10 milímetros en el aire, como garantía de que en la cámara de combustión del motor salte entre dos puntas distantes de 1 a 2 milímetros, puesto que los gases comprimidos son peores conductores de la electricidad que los gases enrarecidos, y la chispa debe saltar en el momento de la máxima compresión de los gases.

Podría suceder, pues, que un carrete, produciendo una chispa en el aire, no funcionase en la cámara de combustión de un motor, debido a que la resistencia que ha de vencer es mucho mayor en este último caso.

El circuito primario de un carrete de inducción empleado para producir la inflamación de los gases de un motor de explosión es alimentado por dos o tres acumuladores ligeros, y la chispa se produce entre los extremos del circuito secundario separados de 1 a 2 milímetros.

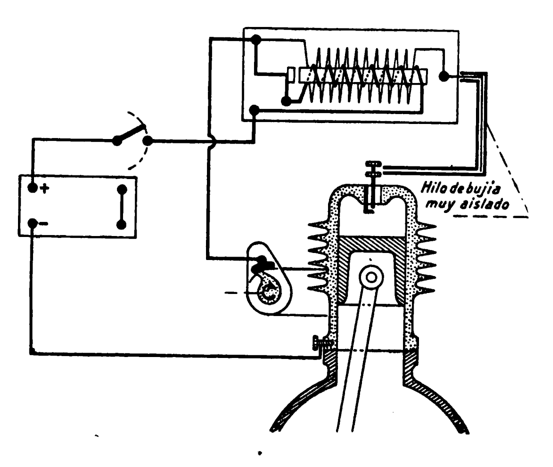


Fig. 42

El montaje de un carrete de inducción utilizado para inflamar los gases de un motor de explosión puede hacerse de dos maneras distintas: empleando vibrador o prescindiendo de él.

La figura 42 da idea de las conexiones cuando se hace uso del vibrador.

Para producir los rayos X se emplean carretes de grandes dimensiones; para la producción de los ra-

yos X de Roentgen, una de cuyas principales características es atravesar ciertos cuerpos refractarios al paso de los rayos luminosos ordinarios, se emplean chispas de 20 y más centímetros.

También se emplean estos carretes de grandes dimensiones en medicina para producir corrientes de alta frecuencia.

Otra aplicación de los carretes de inducción es la producción de ondas electromagnéticas o hertzianas, por medio de las cuales se pueden transmitir a enormes distancias ciertos signos especiales, sin mediación de conductor metálico alguno, es decir, la telegrafía sin hilos.

Los principales accidentes en el funcionamiento de los carretes de inducción son debidos generalmente a las siguientes causas:

a) Intensidad demasiado débil de la corriente primaria.

b) Mal funcionamiento del interruptor.

c) Un defecto en el devanado.

Se comprueba si el valor de la corriente es el normal por medio de un amperímetro.

Para comprobar el interruptor, si se trata de un interruptor mecánico, es preciso asegurarse de que los contactos de platino estén bien limpios y en caso contrario se pulen con papel esmeril.

Cuando la chispita de ruptura de la corriente es relativamente fuerte, significa que el condensador está fuera de circuito por un defecto en las conexiones o que el defecto está dentro de él mismo, es decir, que los dos grupos de hojas pares e impares están en corto circuito. Se confirma que el condensador está en corto circuito cuando, después de haber sido des-

conectado, se comprueba que la chispa no ha aumentado en intensidad.

Si el interruptor es electrolítico, un funcionamiento defectuoso puede provenir de haberse calentado notablemente el líquido, debido a una marcha prolongada, o también de un voltaje insuficiente; puede ser debido, finalmente, a que el hilo de platino no sea suficiente para dejar paso a la corriente que debe circular por el interruptor. Se admite para el hilo de platino una densidad de corriente de 0,4 amperios por milímetro cuadrado. Debe tenerse en cuenta que el hilo de platino ha de estar conectado al polo positivo, pues si se uniera al polo negativo, sufriría un calentamiento suficiente para fundirle.

En el tercer caso, es decir, cuando existe un defecto en el devanado, la avería del carrete es debida a un corto circuito o a una ruptura del devanado primario o del secundario.

El caso más frecuente es un corto circuito en el primario, lo que se manifiesta por la escasa intensidad de la chispa de ruptura y la débil atracción que ejerce el núcleo. Aumenta notablemente la intensidad de la corriente primaria.

Si existe una interrupción en el primario, la corriente no circula y, por consiguiente, el interruptor no funciona.

Cuando el corto circuito tiene lugar en el devanado secundario, la disminución de la chispa es muy notable, al mismo tiempo que las espiras en corto circuito se calientan considerablemente, puesto que son recorridas por una corriente muy intensa.

También es muy visible una ruptura del secundario, porque la chispa no salta aunque se acerquen excesivamente sus extremos. Una manera fácil de com-

probar un defecto en el circuito secundario consiste en medir su resistencia por uno de los métodos empleados.

El efecto que produce la descarga de un carrete de inducción sobre el cuerpo humano consiste en contracciones solamente desagradables cuando provienen de carretes de pequeñas dimensiones; pero que pueden llegar a ser peligrosas y aun mortales, si son debidas a carretes de gran tamaño. Para un mismo voltaje, el mayor o menor número de interrupciones por segundo modifica extraordinariamente los efectos fisiológicos; cuanto más aumenta la frecuencia, menor es la influencia que ejerce la corriente en el hombre.

Para ampliar los conocimientos en la materia estudiada en esta segunda parte son recomendables las siguientes obras:

Bibl.: NORRIE, H. S. — *Induction Coils.* Spon and Chamberlain, New-York, 1901. — SPRINGER, F. W. — *Electrical Ignition in Internal Combustion Engines,* publicado en *Electrical World,* vol. L, 1906. — EDDY W. O. and CASTHORN, M. — *The Design of Induction Coils,* publicado en *Electrical World,* vol. XLVIII, 1906. — EDDY W. O. — *The Construction of Induction Coils,* publicado en *Electrical World,* vol. XLIX, 1907. — EHNERT, E. W. — *Theorie und Vorausberechnung der Funkeninduktoren,* publicado en *Elektrotechnik und Maschinenbau,* vol XXV, 1907. — SPRINGER, F. W. — *The Design and Operation of Spark Coils,* publicado en *Electrical World,* vol. L, 1907. — COLLINS, A. F.—*The Induction Coil,* Munn and Co., New York, 1908.— BAILEY, B. F. — *Induction Coils,* publicado en *Phisical Review,* volumen XXVI, 1908. — ARMAGNAT, H. — *Induction Coils,* MacGraw-Hill Book Co. Inc. New York, 1908. — BAILEY, B. F. — *The Induction Coil,* publicado en *Electrical World,* vol. LV, 1910.

INDICE

PRIMERA PARTE

FABRICACIÓN DE CONDENSADORES

CAPÍTULO PRIMERO

GENERALIDADES SOBRE LOS CONDENSADORES

CAPÍTULO II

DIVERSAS CLASES DE CONDENSADORES

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO V

CAPÍTULO VI

CAPÍTULO VII

CAPÍTULO VIII

CAPÍTULO IX

CAPÍTULO X



